

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»**

**НАУКА И МОЛОДЕЖЬ:
ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ**

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ВЫПУСК 26

*Труды Всероссийской научной конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
17 – 18 мая 2022 г.*

ЧАСТЬ I

Под общей редакцией профессора С.В. Коновалова

**Новокузнецк
2022**

ББК 74.48.288
Н 340

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, профессор Коновалов С.В.,
д-р физ.-мат. наук, профессор Громов В.Е.,
д-р техн. наук, профессор Фрянов В.Н.,
канд. техн. наук, доцент Чаплыгин В.В.,
д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.,
д-р техн. наук, доцент Фастыковский А.Р.,
канд. техн. наук, доцент Риб С.В.

Н 340

Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 17–18 мая 2022 г. Выпуск 26. Часть I. Естественные и технические науки / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет; под общ. ред. С.В. Коновалова – Новокузнецк; Издательский центр СибГИУ, 2022. – 427 с. : ил.

ISSN 2500-3364

Представлены труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по результатам научно-исследовательских работ. Первая часть сборника посвящена актуальным вопросам в области естественных наук, перспективных технологий разработки месторождений полезных ископаемых; металлургических процессов, технологий, материалов и оборудования.

Материалы сборника представляют интерес для научных и научно-технических работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

ISSN 2500-3364

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2022

І ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 669.112.2:539.4

ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУРНЫХ КЛАССОВ

Аксёнова К.В.¹, Ващук Е.С.²

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, профессор Громов В.Е.

¹*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, 19krestik91@mail.ru*

²*Филиал ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в г. Прокопьевске, vaschuk@bk.ru*

Получены кривые деформационного упрочнения сталей различных структурных классов, подвергнутых пластической деформации одноосным сжатием. Установлено, что деформационное упрочнение исследуемых сталей носит многофакторный характер.

Ключевые слова: сталь, пластическая деформация, упрочнение, структура.

Несмотря на прогресс развития науки и техники в XX веке, человечество и в XXI веке продолжает жить в эпоху, когда основным конструкционным материалом являются стали – сплавы на основе железа [1]. Это обусловлено высокими физико-механическими характеристиками сталей, которые зависят от их структурного-фазового состояния. Всестороннее изучение свойств, характеризующих сопротивление хрупкому разрушению, показало принципиальную возможность эффективного деформационного упрочнения сталей различных классов при условии его рационального применения [2]. Как известно, пластическая деформация – это сложный физико-химический процесс, в результате которого вместе с изменением строения и формы исходного состояния меняются его физико-химические и механические свойства. Знание закономерностей формирования структуры и свойств сталей при пластической деформации необходимо для управления процессом деформационного упрочнения [3].

Целью настоящей работы является анализ кривых деформационного упрочнения сталей различных структурных классов, подвергнутых пластической деформации одноосным сжатием.

Материалом исследования являлись конструкционные стали с перлитной (рельсовая сталь Э76ХФ), бейнитной (30Х2Н2МФА) и мартенситной (38ХН3МФА) структурами. Предварительно стали подвергали термической обработке: аустенизировали при температуре 960 °С, 1,5 часа и охлаждали в воде (сталь 38ХН3МФА) или на воздухе (сталь 30Х2Н2МФА). Рельсовая сталь была подвергнута дифференцированной закалке сжатым воздухом. Деформацию сталей проводили при комнатной температуре одноосным сжатием со скоростью $\sim 7 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ столбиков размерами 4x4x6 мм³ на испыта-

тельной машине типа «Instron» при автоматической записи нагрузки и удлинения. Сжатие, как способ деформации, было удобно использовать, поскольку в этом случае удастся достигать более глубоких деформаций, чем при растяжении. Исследования структуры и фазового состава стали осуществляли методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии тонких фольг.

Характерный вид кривых деформационного упрочнения исследуемых материалов приведен на рисунке 1, а. Видно, что деформационное упрочнение материалов протекает похожим образом, однако прочностные характеристики мартенистной стали выше, а пластичность ниже, чем у бейнитной и рельсовой. Разрушение испытываемых образцов мартенситной и бейнитной стали, независимо от структуры, происходило путем хрупкого скола с образованием нескольких крупных осколков. Образцы рельсовой стали при выбранном методе испытания не удалось довести до разрушения, поскольку они сплющивались. Это объясняется тем, что исследуемая сталь способна сильно деформироваться без разрушения при данном способе нагружения. Математическая обработка кривых деформационного упрочнения показывает, что зависимость σ - ϵ (независимо от структуры материала) имеет параболический вид и описывается полиномом четвертой степени.

Дифференцирование кривой зависимости σ - ϵ позволяет определить коэффициент деформационного упрочнения стали $\theta = \frac{d\sigma}{d\epsilon}$. Анализируя приведенные на рис. 1, б результаты, можно выделить две стадии деформационного упрочнения: стадию с параболической зависимостью σ - ϵ или убывающим коэффициентом упрочнения θ и стадию со слабо изменяющимся отрицательным или низким значением коэффициента упрочнения. Переход от первой стадии ко второй наступает в интервале степеней деформации (17...22) % независимо от структурного состояния исследуемых материалов.

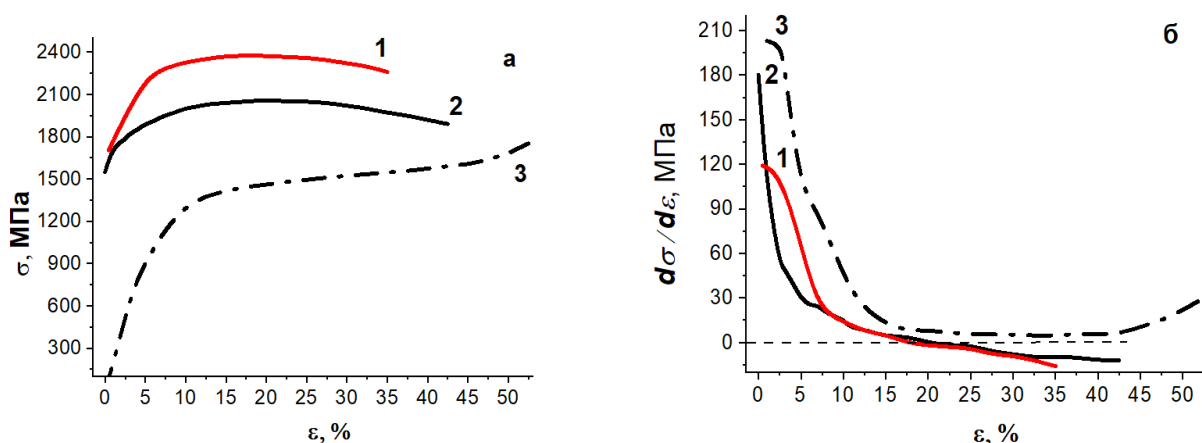


Рисунок 1 - Кривые деформационного упрочнения (а) и зависимости коэффициента деформационного упрочнения от степени деформации (б) стали 38ХНЗМФА (кривая 1), стали 30Х2Н2МФА (кривая 2) и стали Э76ХФ (кривая 3)

Проведенные электронно-микроскопические микродифракционные исследования показали, что в результате указанной выше термической обработки в стали 38ХН3МФА была сформирована структура пакетного (реечного) мартенсита; в стали 30Х2Н2МФА – структура нижнего бейнита, сформировавшаяся по сдвиговому механизму $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения [4]. В объеме реек присутствуют частицы цементита (более крупные в стали 30Х2Н2МФА с бейнитной структурой) и дислокационная субструктура сетчатого типа с относительно высокой скалярной плотностью дислокаций, составляющей в стали с мартенситной структурой $\approx 1 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$; в пластинах нижнего бейнита $\approx 0,7 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$.

Основным типом структуры, формирующейся в рельсовой стали, имеющей выраженный градиентный характер, является перлит пластинчатой морфологии (эвтектоидная смесь феррита и цементита, в которой обе фазы имеют форму протяженных пластинок), относительная объемная доля которого меняется в пределах 0,34-0,87. Доля зерен феррито-карбидной смеси (зерен феррита, в объеме которых наблюдаются частицы цементита различной формы) составляет 0,12-0,65 структуры стали, а структурно свободного феррита (зерен феррита, не содержащими в объеме частиц карбидной фазы) – 0,01-0,05. С увеличением расстояния до поверхности относительная объемная доля пластинчатого перлита увеличивается, а зерен феррито-карбидной смеси и структурно-свободного феррита уменьшается.

Установлено, что пластическая деформация одноосным сжатием сталей сопровождается скольжением дислокаций и микродвойникованием, а также взаимосвязанной эволюцией фазового состава и дефектной субструктуры материала. В результате проведенных исследований установлено, что деформационное упрочнение исследуемых сталей носит многофакторный характер [4]. Наибольший вклад в величину деформационного упрочнения исследуемых сталей дает упрочнение, обусловленное внутренними дальнедействующими полями напряжений, и твердорастворное упрочнение, обусловленное внедрением атомов углерода в кристаллическую решетку феррита.

Библиографический список

1. Вишнякова Е.В. История развития конструкционных материалов // Научный журнал НИУ ИТМО. 2016. №1. С. 49-60.
2. Song R. Mechanical properties of an ultrafine grained C-Mn steel processed by warm deformation and annealing / R. Song, D. Ponge, D. Raabe // Acta Materialia. 2005. №53. P. 4881-4792.
3. Zrník J. Ultrafine grain structure development in steel with different initial structure by severe plastic deformation / J. Zrník [and etc.] // Revista Materia. 2010. Vol. 15. №2. P. 240-246.
4. Aksenova K.V. Strain Hardening of Bainitic and Martensitic Steel in Compression / K.V. Aksenova [and etc.] // Steel in Translation. 2018. Vol. 48. No. 10. P. 631–636.

**МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОЦК-КРИСТАЛЛОВ ПРИ
КРАТКОВРЕМЕННОМ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ
ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

Гостевская А.Н.

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, доцент Маркидонов А.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: lokon1296@mail.ru*

В представленной работе приведены результаты молекулярно-динамического моделирования изменений поверхности ячейки при кратковременных высокоэнергетических воздействиях. Интерес к исследуемой теме обусловлен тем, что процессы, происходящие в поверхностном слое жидкости, влияют на ее кристаллизацию, приводя к различным физическим и геометрическим свойствам поверхности и причинам этого во всем материале.

Ключевые слова: ОЦК-кристалл, молекулярно-динамическое моделирование, лазерная абляция, высокоинтенсивное воздействие.

Воздействие на металл сверхкоротких сверхмощных лазерных импульсов создает уникальные физические условия. Это основной механизм высокой скорости нагрева материала и выделения энергии лазерного излучения. Неравновесный процесс нагрева материала под действием лазерного излучения представляет большой интерес и, несомненно, является предметом различных экспериментальных и теоретических исследований [1 – 3].

Явление лазерной абляции успешно изучалось с помощью молекулярной динамики [4 – 6]. Структурные изменения в аморфной фазе на этапе охлаждения после окончания выдержки, несомненно, отразятся на свойствах полностью или частично кристаллической структуры. Поэтому изучение аморфной структуры лазерных материалов представляет большой интерес.

Методика исследования

В рамках исследований структурных изменений в металлах при воздействии высоких температур изучались в рамках молекулярно-динамического моделирования. Модель создавалась следующим образом. В прямоугольной системе координат размер вычислительной единицы находится в трех ортогональных кристаллографических направлениях, совпадающих с осью. Далее формируется базовая ячейка, формируется массив частиц, соответствующий ОЦК-решетке, и его трансляция заполняет весь заданный объем. Расчетная элементарная ячейка представляет собой прямоугольный параллелепипед с отношением сторон $20 \times 100 \times 12 a_0$ (a_0 – равновесная постоянная решетки). Поскольку это исследование проводилось на модели кристаллита железа, постоянная решетки была установлена равной 2,866 Å. Общее количество смоделированных частиц составляет 48000 ча-

стиц. Построенная при помощи молекулярной динамики поверхность кристалла, используя периодические граничные условия по осям X и Z и свободные граничные условия по оси Y . Устанавливается ориентация вычислительных элементов в пространстве так, чтобы ось X совпадала с кристаллографическим направлением $[100]$, ось Y совпадала с направлением $[010]$, а Z совпадала с направлением $[001]$. В данном исследовании функция межчастичного взаимодействия применялся потенциал, моделируемый с применением способа погруженного атома [7]. Уравнения движения, описывающие поведение системы частиц, интегрируются с помощью алгоритма для интегрирования уравнений движения Ньютона с временными шагами 1 фс. Расчеты выполняются с помощью пакета XMD. Результаты моделирования визуализировались с помощью пакета визуализации OVITO [8].

Результаты исследования

Процесс моделирования производится в 2 этапа. На первых этапах расчетные ячейки нагревались неравномерно в течение времени моделирования 10 пс. Далее идет второй этап, где рассчитанная температура неравномерно охлаждается при 20 пс. На рисунке 1 показано изменение средней температуры ячейки, рассчитанное в ходе моделирования.

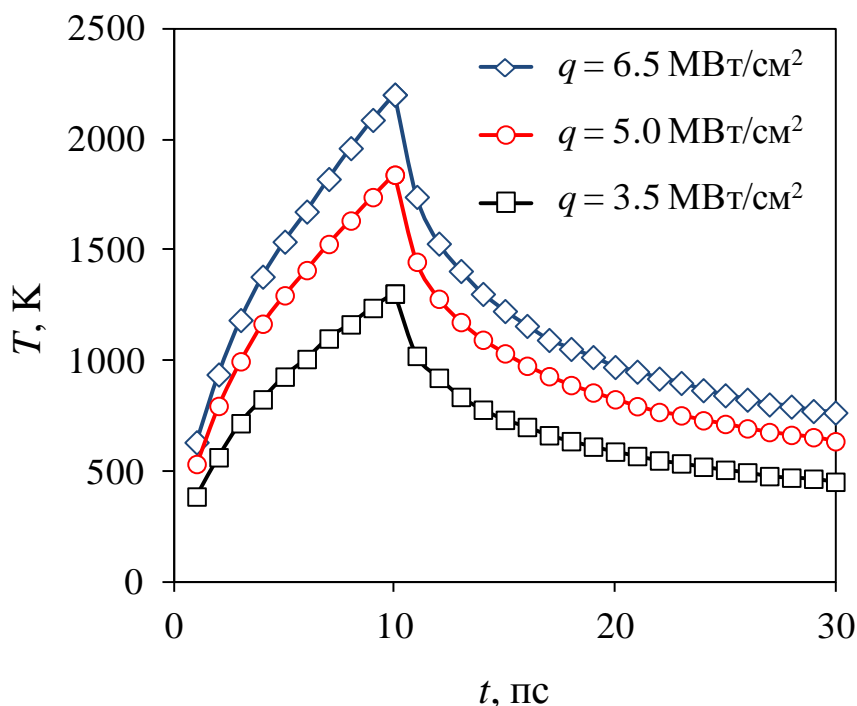


Рисунок 1 – Среднее изменение температуры ячейки, рассчитанное при моделировании при различных плотностях энергии лазерного излучения

Далее локальная температура ячейки, рассчитанная в процессе нагрева, начинает превышать температуру плавления, происходит фазовый переход, образующий границу между твердой и жидкой фазами в ячейке, смещая температуру в сторону более низкой температуры. Дальнейшее увеличение температуры, приводит к отделению атомов от поверхности вычислительного блока, образуя облако испаренных частиц. Стадия охлаждения включает

локализацию разбавленных областей, образовавшихся на предыдущей стадии нагрева (см. рисунок 2, а), их слияние и образование сферических пор (см. рисунок 2, б, в, г).

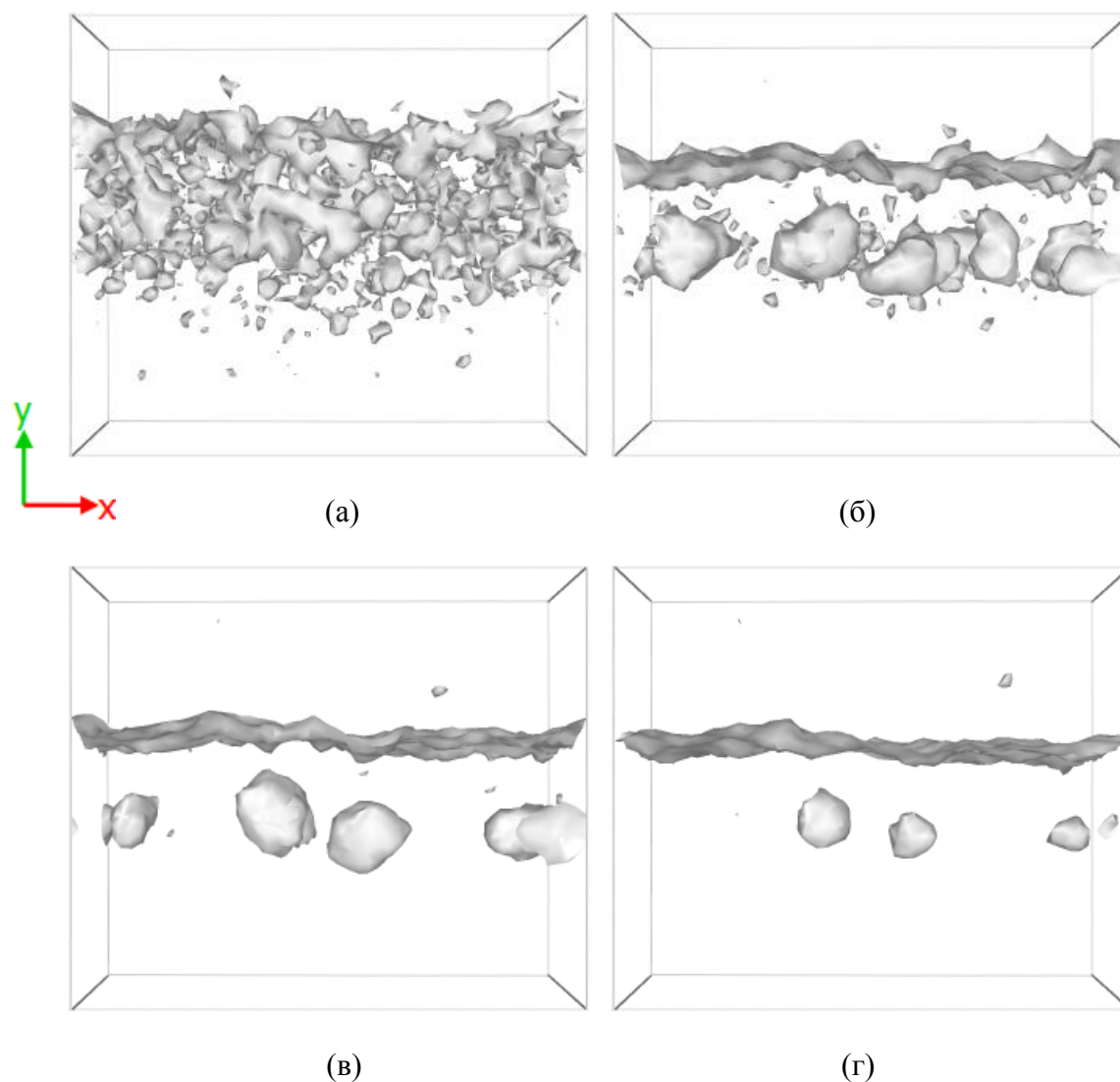


Рисунок 2 – Визуализированная моделируемая плотность энергии лазерного излучения $q = 3,5 \text{ МВт/см}^2$ моделирования 11 (а), 15 (б), 19 (в) и 22 (г) пс см после свободной поверхности, образованной расчетными ячейками (с указанием ее фрагмента)

Алгоритм, основанный на методе α -формы Эдельсбруннера и Мюкке [10], использовался для выявления пустот и оценки площади их поверхности. Этот метод использует тетраэдрализации Делоне ряда геометрических точек. Идентификация пустот, образуемых в структуре твердого тела, включающей межатомное пространство. Радиус такой сферы должен быть не меньше половины расстояния между самыми короткими атомами, иначе в расчет включаются «искусственные» пустоты. В данной работе радиус виртуальной сферы равен значению постоянной решетки.

При моделировании разнообразных плотностей поглощенной лазерной

энергии путем изменения параметра q в слоях вблизи поверхности расчетной ячейки наблюдаются различные структурные изменения. Коэффициент пористости обычно выражается как плотность аморфных и кристаллических структур и используется для количественной оценки этого изменения. В этом случае коэффициент пористости θ определяется как процент свободной поверхности, образованный всеми порами свободной поверхности, идентифицированными в расчетной ячейке. На рисунке 3 показаны зависимость коэффициента пористости θ от время различных симуляций q .

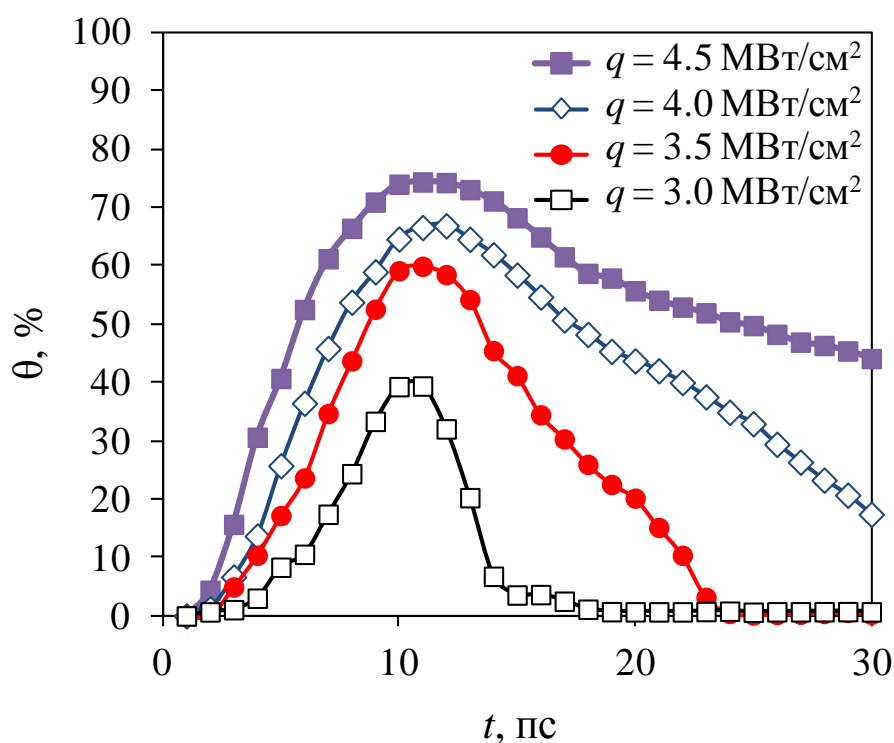


Рисунок 3 – Колебания расчетных коэффициентов пористости ячеек при моделировании с различной плотностью излучения лазера

Из графика на рисунке 3 видно, что пустоты, образовавшиеся в ячейках при моделировании, исчезают при $q \leq 3,5$ МВт/см². Такого рода недостатки подлежат дальнейшему проведению исследований.

Заключение

Быстрые процессы в металлах в настоящее время успешно изучаются методами компьютерного моделирования. В процессе проведения исследования была построена молекулярно-динамическая модель для изучения процессов, происходящих на поверхности материалов при кратковременных высокоэнергетических воздействиях извне. Установлено, что в поверхностном слое после окончания внешнего воздействия свободный объем локализован в виде ряда пор, растворяющихся в процессе сжатия.

Исследование выполнено в рамках конкурса Минобрнауки на создание новых молодежных лабораторий «Научно-исследовательская лаборатория ЭМиОИ» (Проект №0809-2021-0013).

Библиографический список

1. Завьялова М.А. Поверхностная модификация кварцевого стекла импульсами пикосекундного лазера // Компьютерная оптика. 2016. – Т.40. №6. – С.863 – 870.
2. Мажукин В. И. Эффекты неравновесности при воздействии импульсного лазерного излучения на металлы. / В.И. Мажукин, М.М. Демин, А.В. Шапранов // Оптический журнал. – 2011. – Т.78, №8. – С.29-37.
3. Явтушенко Т.О. Экспериментальное исследование процесса структурирования поверхности металла фемтосекундными лазерными импульсами высокой мощности / Т.О. Явтушенко, А.С. Кадочников, С.Г. Новиков, А.В. Беринцев, Д.А. Столяров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т.15. №4(5). С.1033-1037.
4. Kuo J.-K. Molecular dynamics simulations of crater formation induced by laser ablation on the surface of α -Fe substrate / J.-K. Kuo, P.-H. Huang, S.-K. Chien, K.-Y. Huang, K.-T. Chen // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol.167. – 03011 (6 pp).
5. Gong X.-F. Molecular dynamics simulation of pulsed laser ablation / X.-F. Gong, G.-X. Yang, P. Li, Y. Wang, X.-J. Ning // International Journal of Modern Physics B. 2011. V.25. No.4. P. 543-550.
6. Cheng C. Molecular dynamics simulation of ultrafast laser ablation of fused silica / C. Cheng, A.Q. Wu, X. Xu // Journal of Physics : Conference Series. – 2007. – Vol. 59. – P.100 – 104.
7. Mendeleev M.I., Development of new interatomic potentials appropriate for crystalline and liquid iron / M.I. Mendeleev [etc.] // Philosophical Magazine. – 2003. – Vol.83., No.35. – Pp.3977 – 3994.
8. Stukowski A. Visualization and analysis of atomistic simulation data with OVITO – the Open Visualization Tool // Modelling and Simulation Materials Science and Engineering. 2010. Vol.18. 015012 (7 pp).

УДК 538.951 : 616.31

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОСТНОЙ ТКАНИ, РАСПОЛОЖЕННОЙ ВОЗЛЕ ИМПЛАНТАТА С ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫМ БИОИНЕРТНЫМ ПОКРЫТИЕМ СИСТЕМЫ Ti-Zr ИЛИ Ti-Nb

Филяков А.Д., Романов Д.А., Невский С.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: filyakov.1999@mail.ru*

В настоящей работе впервые было проведено компьютерное моделирование напряженно деформированного состояния костной ткани, расположенной возле имплантата, с нанесенным на его поверхность электровзрыв-

ным покрытием системы Ti-Zr, Ti-Nb.

Ключевые слова: метод конечных элементов, дентальные имплантаты, распределение напряжений, биоинертное покрытие, электровзрывное напыление.

В настоящее время интенсивно развивается метод электровзрывного напыления [1], в частности, биоинертных покрытий систем Ti-Zr и Ti-Nb. При изучении покрытий системы Ti-Zr, Ti-Nb было обнаружено, что они демонстрируют меньший модуль Юнга по сравнению с подложкой, выполненной из сплава ВТ 6 [2].

Целью данного исследования является определение и анализ напряженно-деформированного состояния биоинертных покрытий системы Ti-Zr и Ti-Nb при их эксплуатации в человеческом теле.

В качестве подложки, на которую производилось электровзрывное напыление биоинертных покрытий системы Ti-Zr и Ti-Nb, использовался зубной имплантат, выполненный из титанового сплава Ti-6Al-4V (ВТ 6).

Формирование поверхностного слоя осуществлялось на электровзрывной установке ЭВУ 60/10М по средствам электрического взрыва ниобиевой или циркониевой фольги при поглощаемой плотности мощности 2,0 ГВт/м². Масса как циркониевой, так и ниобиевой фольги составляла 850 мг.

Структуру и морфологию полученного покрытия и прилегающего слоя подложки анализировали методами сканирующей электронной микроскопии (прибор Carl Zeiss EVO50).

Толщина полученного электровзрывного покрытия определялась на поперечных шлифах с помощью программного обеспечения Leica Application Suite. При указанных параметрах толщина покрытия составляла ≈ 63 мкм. Модуль Юнга определялся путем наноиндентирования покрытия при нагрузке 50 мН (NAN-твердомер NHT-S-AX-000X).

Для оценки влияния биоинертных покрытий системы Ti-Zr и Ti-Nb механического поведения биоинертных покрытий в программе COMSOL Multiphysics[®] версии 5.5 была разработана двумерная модель.

Все материалы, используемые при ее создании, принимаются как линейно-упругие и изотропные. Характеристики применяемых материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные характеристики материалов

Материал	Модуль Юнга, ГПа	Коэффициент Пуассона	Плотность, кг/м ³
ВТ6	110	0,3	4470,5
Ti-Zr	73,8	0,36	6520
Ti-Nb	84,3	0,35	8750
Кортикальная кость	14,8	0,3	1126,28
Губчатая кость	1,85	0,3	734,77

Все расчеты проводились согласно теории упругости для стационарного случая.

Оценка распределения напряжений, возникающих под действием физиологических нагрузок, производится при помощи двумерной модели, представляющей из себя многослойную балку, состоящую из подложки, представленной во всех вариантах титановым сплавом ВТ 6, промежуточного слоя, в разных вариантах, симулирующего поведение покрытий системы Ti-Zr и Ti-Nb, и костного слоя. Также в настоящей работе исследуется вариант, не содержащий биоинертное электровзрывное покрытие. Костный слой представлен кортикальной и губчатой тканью. Длина модели составляет 1000 мкм, а толщина 300 мкм. Толщина титановой подложки равна 87 мкм, костной ткани – 150 мкм, а промежуточного слоя – 63 мкм.

Образцы закреплены грани BE, с противоположной стороны к грани JF прикладывается сжимающая сила F_1 , направленная по оси X и равная 114,6 Н, и изгибающая F_2 со значением 29 Н, направленная вверх по оси X, в сторону слоя костной ткани. Результирующая сила равна 118,2 Н и направлена под углом 75° к поверхности имплантата. Грани: АВ, АJ, АС, HD, FE – являются свободными (рисунок 1). Исследуемая модель была разделена на 745634 с размером от 0,02 мкм до 1 мкм.



Рисунок 1 - Плоская модель воздействия нагрузок на электровзрывные биоинертные покрытия в человеческом теле

Анализ результатов конечно-элементного моделирования показал, что напряжения, возникающие в системе «имплантат – кость» распределяются неравномерно. Большие напряжения сконцентрированы в плоскости имплантата, возле границы между имплантатом и костной тканью (грань JC). Такая разница в распределении напряжений обусловлена более высоким модулем Юнга титанового сплава ВТ 6. При этом большие значения напряжений были выявлены в вариантах с губчатой костной тканью.

В моделях с биоинертными покрытиями системы Ti-Zr и Ti-Nb из-за их более низких значений модуля Юнга демонстрируют уменьшение напряжений в области имплантата, а также на границе раздела «имплантат-кость» и их увеличении в слое костной ткани. Таким образом происходит перераспределение напряжений по средствам переноса напряжений из имплантата в

костную ткань (рисунок 2). Сильнее всего эффект переноса напряжений наблюдается в образцах со слоем биоинертного покрытия системы Ti-Zr.

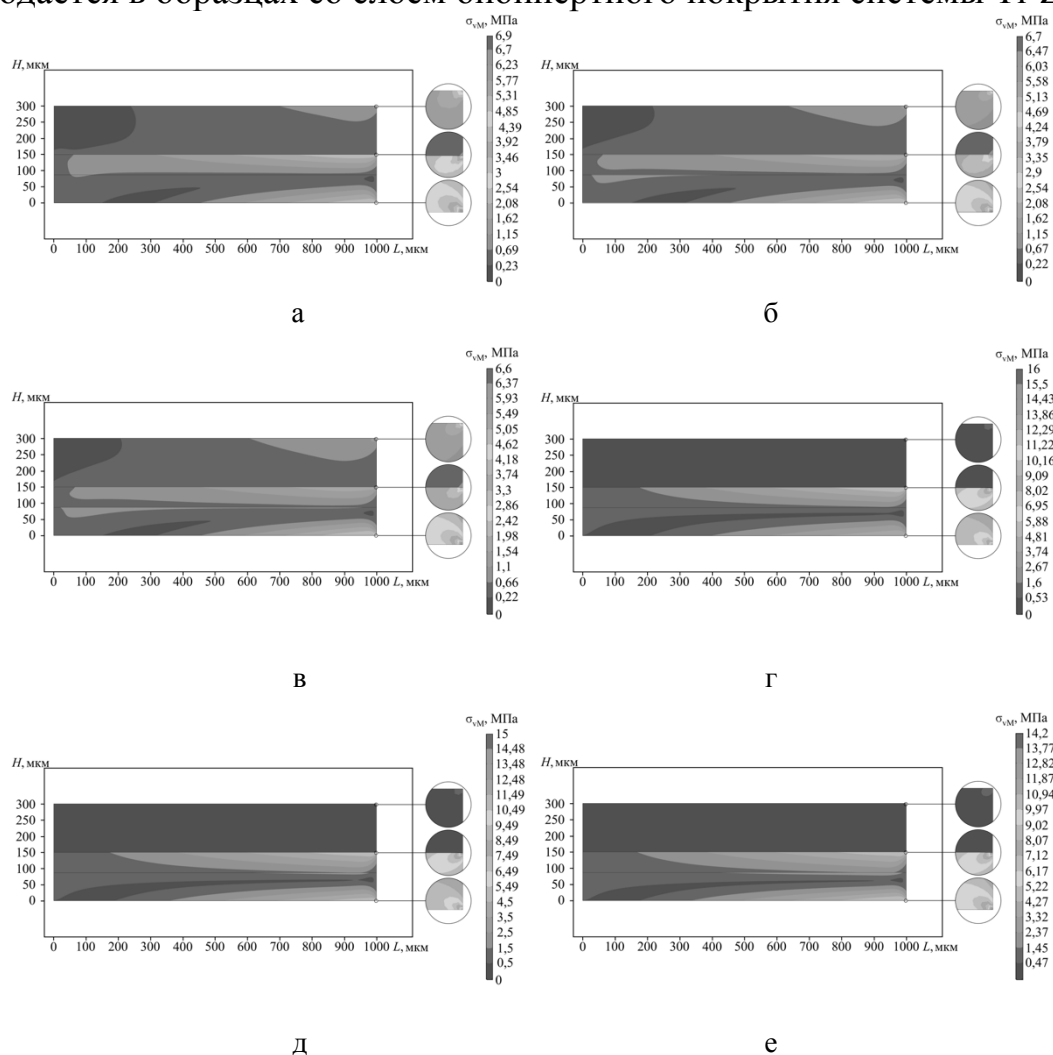


Рисунок 2 - Распределение напряжений по Мизесу: а) – контрольная модель (вариант с кортикальным слоем костной ткани); б) – контрольная модель (вариант с губчатым слоем костной ткани); в) – модель с покрытием системы Ti-Nb (вариант с кортикальным слоем костной ткани); г) – модель с покрытием системы Ti-Nb (вариант с губчатым слоем костной ткани); д) – модель с покрытием системы Ti-Zr (вариант с кортикальным слоем костной ткани); е) – модель с покрытием системы Ti-Zr (вариант с губчатым слоем костной ткани)

Стоит отметить, что на границе между титановой подложкой и электровзрывным биоинертным покрытием (грань HD) образуется второй скачок механических напряжений, вызванный различием в значениях модулей Юнга покрытия и подложки.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-79-00035).

Библиографический список

1. Romanov D. A. Structural-phase state of the system “CdO-Ag coating / copper substrate” formed by electroexplosive method / D. A. Romanov, S. V. Moskovskii, E. A. Martusevich et al //Metalurgija. – 2018. – V. 57. – P. 299–302.

2. Romanov D. A. Titanium-zirconium coatings formed on the titanium implant surface by the electroexplosive method [Text] / D. A. Romanov, K. V. Sosnin, V. E. Gromov et al. // Materials Letters – 2019. – Vol. 242. – P. 79–82.

УДК 537.533.35

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТРОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ

Дробышев В.К., Гостевская А.Н.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Панченко И.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: drobyshv_v.k@mail.ru*

Рассмотрена актуальность растровой электронной микроскопии, как основного инструмента для получения фундаментальных знаний в разделе наук о материалах, а также её применения в иных науках. Результат исследовательской работы позволит сформировать банк данных, которым смогут воспользоваться различные организации при выборе растровой электронной микроскопии.

Ключевые слова: растровая электронная микроскопия, рентгеновское излучение, высокоэнтропийные сплавы, элементный анализ, компонентный состав.

На сегодняшний день все большее распространение получает растровая электронная микроскопия, как основной инструмент для получения фундаментальных знаний в разделе наук о материалах. Широко используется в материаловедении при изучении свойств различных материалов, медицине [1], материаловедении при изучении свойств различных материалов [2], биологии, химии [3] и иных науках, а также при проведении процедуры контроля качества поверхности изделий и полуфабрикатов в производстве. Широта применения этого инструмента обусловлена его высокой информативностью, гибкостью и универсальностью, а также простотой и удобством управления современным оборудованием

Изучение свойств любого материала, структуры или объекта не будет достаточно полным, если закончится на уровне макромира. Многие существенные факты невозможно увидеть невооруженным глазом, поэтому исследователям необходимо прибегать к использованию специализированного оборудования, например, растрового электронного микроскопа.

Несмотря на то, что сканирующая электронная микроскопия получила активное развитие, она по-прежнему считается сложным методом. Подготовка образцов, необходимость настройки, высокая стоимость владения и трудности при работе с аналитическими методами – все это препятствует ее широкому внедрению. Мы приняли решение сделать сканирующий элек-

тронный микроскоп по настоящему доступной технологией без ущерба для гибкости ее применения.

Идея создания электронного микроскопа была сформулирована и описана немецким инженером-электриком М. Кноллем [4-6], который предложил строить изображение поверхности исследуемого объекта путем последовательного считывания и обработки информации о каждой из точек объекта с использованием зонда, то есть, реализация исследований должна была проводиться путем сканирования, откуда и пошло название прибора.

Принцип работы любого растрового электронного микроскопа основан на анализе вторичных или отраженных электронов, которые возникают в результате взаимодействия электронного зонда с веществом. В связи с этим формирование изображения поверхности исследуемого объекта основано путем сканирования первичным электронным пучком по поверхности образца. Изображения исследуемых объектов получаются на экране и записываются во время съемки на фотопленку или в память компьютера.

Основными узлами любого растрового электронного микроскопа (РЭМ) являются: электронно-оптическая колонка, система регистрации изображений и управления оборудованием, а также вакуумная система. Схема электронного микроскопа представлена на рисунке 1.

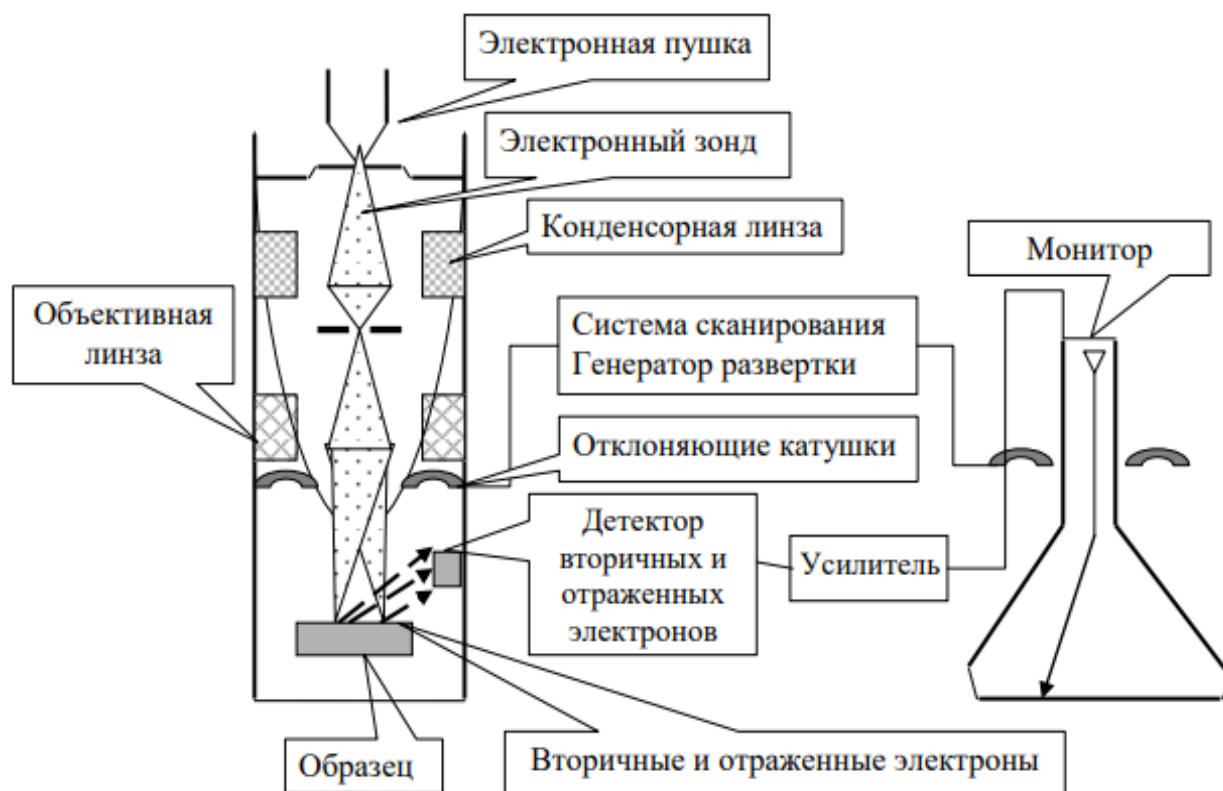


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства электронного микроскопа

В работе был произведен поиск и оценка электронных растровых микроскопов по реализации повышения технологических и эксплуатационных параметров металлических деталей и изделий путем разработки высокоэн-

тропийных сплавов с оптимальным соотношением прочности и пластичности и новых наплавочных материалов.

Исходя из стоящих задач, для сравнительного анализа, были отобраны две модели растровых электронных микроскопов:

1. Thermo Fisher Scientific Axia LoVac (рисунок 1, а);
2. Scanning Electron Microscope JSM-IT200 (рисунок 1, б).

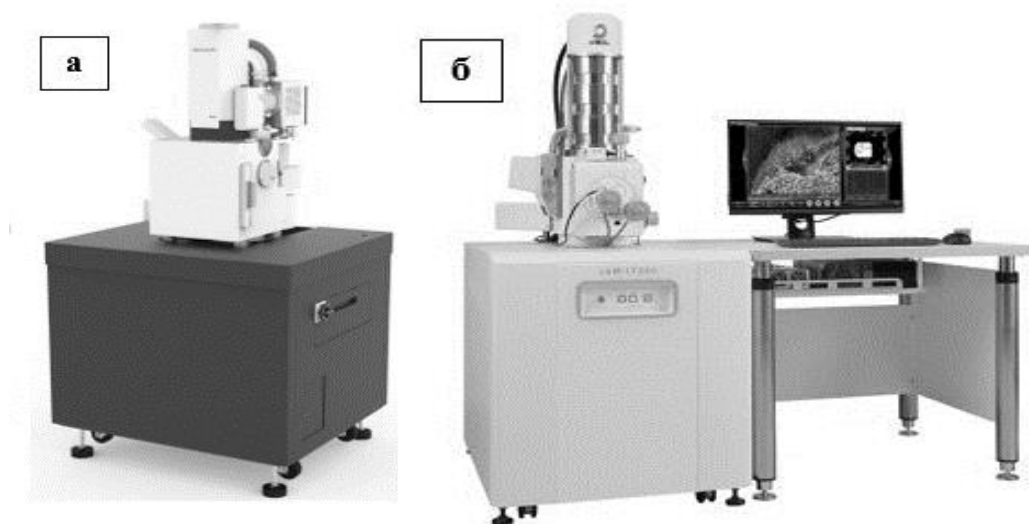


Рисунок 2 – Внешний вид растровых электронных микроскопов:
а – Axia LoVac; б – JSM-IT200

Axia ChemiSEM – предлагает технологию обработки информации с адаптивным формированием импульсов, что позволяет получать достоверную информацию об элементном составе без искажений от наложения пиков и теней. Прибор обеспечивает размещения больших образцов весом до 10 кг и предоставляет доступ ко всей камере. Режим низкого вакуума позволяет работать с непроводящими образцами и использовать более высокие токи пучка для проведения элементного анализа. Прибор прост в обслуживании В *Axia ChemiSEM* реализована совершенно новая концепция ЭДС-анализа, которая упрощает процесс сбора, обработки и представления информации о составе образца. При использовании *Axia ChemiSEM* информация о количественном элементном составе отображается с помощью различных цветов сразу же после включения электронного пучка.

Серия *JSM-IT200* – это компактные, универсальные растровые электронные микроскопы, которые занимают мало места в лаборатории и легко могут быть перемещены в пределах помещения или здания все, что им нужно для работы, – это пара квадратных метров площади и стандартная однофазная розетка с заземлением мощностью от 1,5 кВт, а габариты позволяют перевозить их даже в пассажирском лифте. Данный микроскоп представляет особую ценность т.к. относится к семейству многофункциональных, высокопроизводительных растровых электронных микроскопов *InTouchScores*.

Интенсивность рентгеновского излучения указанных элементов построена так, чтобы показать изменение концентрации поперек линии. Вы

можете изменить элементы для отображения во время сбора данных или после их завершения

Основные преимущества:

- Надежная электронно-оптическая колонна, использующая конденсорную линзу специальной конструкции, позволяет плавно менять ток пучка, не меняя при этом положения фокуса;

- Недорогие вольфрамовые катоды предварительно отцентрированы на заводе; их замена занимает считанные минуты;

- Полностью автоматизированная и хорошо защищенная от различных нештатных ситуаций вакуумная система;

- Программа Smile View для визуализации и анализа полученных данных, а также быстрой генерации отчетов;

- Возможность реализовывать работы с объектами диаметром до 150 мм, а также устанавливать множество разнообразных приставок.

Таким образом, при сравнении различных видов растровых электронных микроскопов было отмечено, что каждый из них имеет ярко выраженные преимущества. Из данных можно отметить, что микроскоп Thermo Fisher Scientific Axia LoVac позволяет проводить исследования материалов весом до 10 кг, построения 3D изображений без дополнительных опций. Удобный и простой в обращении растровый электронный микроскоп марки JSM-IT200 позволяет варьировать режимы работы в зависимости от объекта исследования, добиваясь высокого разрешения, как рельефа поверхности, так и компонентного состава.

Так же следует отметить, что все три вида растровых электронных микроскопов применяются для исследования, как металлических материалов, так и неметаллических. Данная особенность существенно расширяет спектр исследований, проводимых различными лабораториями внутри высших учебных заведений и на различных предприятиях.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки на создание новых молодежных лабораторий «Научно-исследовательская лаборатория ЭМОИ» (Проект №0809-2021-0013).

Библиографический список

1. Оценка изменений эритроцитов с помощью атомно-силовой и растровой электронной микроскопии (смерть от переохлаждения) / А.С. Гольдерова, В. А. Платонова, Р. З. Алексеев [и др.] // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Медицинские науки. – 2019. – № 2(15). – С. 8-17.

2. Knoll, M. Static Potential and Secondary Emission of Bodies Under Electron Irradiation / M. Knoll // Zeitschrift fur Physik – 1935. – №16. – Pp. 467 – 475.

3. Шахнович, И. В. Современные растровые электронные микроскопы: всё сложнее, всё проще / И. В. Шахнович // Лаборатория и производство. – 2018. – № 2(2). – С. 78-91.

4. Watt I.M. The Principles and Practice of Electron Microscopy / I.M.

Watt // Cambridge University Press. – Cambridge. – 1985. – 479 p.

5. Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применение / под ред. У. Жу, Ж. Л. Уанга; пер. с англ. – Москва : Лаборатория знаний, 2021. – 601 с.

6. Zworykin V.K., Hiller J., Snyder R.L. A Scanning Electron Microscope In ASTM // bull. – 1942. – 117. – Pp. 15 – 23.

УДК 669.71:537.8:620.17

УСТАЛОСТНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО АЛЮМИНИЯ МАРКИ А5М В МАГНИТНОМ ПОЛЕ 0,2 ТЛ

Шляров В.В., Серебрякова А.А., Аксенова К.В.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Загуляев Д.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: shlyarov@mail.ru*

К настоящему времени различными научными коллективами установлено, что воздействие магнитного поля на «немагнитные» металлические материалы (Al, Cu, Zn и др.) приводит к изменению их деформационного поведения. Выдвинуты ряд гипотез по влиянию магнитного поля на металлические парамагнитные металлы, которые базируются на изменении подвижности дефектов при помещении металла в магнитное поле. В результате выполнения данной работы были получены экспериментальные результаты усталостной долговечности технически чистого алюминия марки А5М. Установлено, что применение постоянного магнитного поля 0,2 Тл приводит к увеличению циклов до разрушения.

Ключевые слова: магнитное поле, многоцикловая усталость, индукция, алюминий, разрушение, А5М.

Алюминий (Al), магний (Mg) и титан (Ti) являются легкими конструкционными металлами с плотностями 2,7 г/см³; 1,74 г/см³ и 4,2 г/см³ соответственно. Легкие металлы являются предпочтительным выбором для различных структурных и функциональных применений в автомобильной, аэрокосмической/космической и биомедицинской областях. С развитием методов производства легкие металлы заменяют чугунные и стальные компоненты и изделия. Например, в автомобиле замена стального двигателя на Mg или Al может привести к снижению веса от 22 до 70 %. Замена каркаса автокресла из стали на сплав Mg позволяет снизить вес на 64 %, что повышает энергоэффективность использования топливных ресурсов [1-6].

В современных условиях эксплуатации машин и конструкций проблемы повышения прочности, ресурса, живучести и долговечности материалов выдвигаются в число основных задач. Наиболее ответственные и уникальные изделия, машины и конструкции эксплуатируются в режимах цикличе-

ских деформаций, определяющих разрушение даже при незначительных нагрузках [7].

Разрушение материалов при циклическом нагружении происходит вследствие усталости, под которой подразумевается процесс постепенного накопления повреждений в материале в условиях воздействия переменных нагрузок, приводящий к возникновению усталостной трещины, ее развитию и окончательному разрушению [8].

Усталостное разрушение деталей является одной из наиболее часто (70...80%) встречающихся причин выхода из строя оборудования, механизмов, машин и сооружений. Это обусловлено спецификой явления многоцикловой усталости, заключающейся, во-первых, в зарождении и развитии трещин при относительно низких напряжениях; во-вторых, в высокой чувствительности усталостной долговечности к различным конструкторским, технологическим и эксплуатационным факторам; в-третьих, в многократном рассеянии характеристик выносливости (разброс величины долговечности) по сравнению с характеристиками статической прочности; в-четвертых, в локальном и избирательном характере зарождения трещин и их развитии без проявления видимых остаточных перемещений вплоть до моментов возникновения аварийных ситуаций [9]. Поэтому весьма актуальной является проблема предотвращения усталостных разрушений ответственных деталей (увеличения срока их службы), особенно в тех отраслях, где возникновение аварий ведет к катастрофическим последствиям.

Вопросы усталости и прочности являются предметом самого тщательного рассмотрения с точки зрения, как научных исследований, так и опытно-конструкторских и технологических разработок. Усталостная прочность и долговечность являются важными критериями оценки работоспособности и ресурса деталей и конструкций. Их роль особенно возрастает для современных высоконагруженных ответственных изделий, подвергающихся воздействию циклических нагрузок в области не только много-, но и малоцикловой усталости. Сложность оценки циклической прочности конструкционных материалов связана с тем, что на усталостное разрушение оказывают влияние много различных факторов (структура, состояние поверхностного слоя, температура и среда испытания, частота нагружения, концентрация напряжений, асимметрия цикла, масштабный фактор и ряд других) [8].

В общем случае процесс усталости связан с постепенным накоплением и взаимодействием дефектов кристаллической решетки (вакансий, междоузельных атомов, дислокаций и дисклинаций, двойников, границ блоков и зерен и т.д.) и, как следствие этого, с развитием усталостных повреждений в виде образования и распространения микро- и макроскопических трещин [8].

Сопrotивление материала усталостному разрушению наряду с коррозионной стойкостью, износостойкостью является одной из важнейших механических характеристик, определяющих эксплуатационную надежность деталей машин и конструкций, работающих при циклических нагрузках [10, 11].

Целью данной работы является определение усталостной долговечно-

сти технически чистого алюминия марки А5М в постоянном магнитном поле. Экспериментальная часть работы заключается в определении числа циклов до разрушения образцов алюминиевого сплава, подвергнутого испытаниям в обычных условиях (без магнитного поля) и при воздействии постоянного магнитного поля с индукцией 0,2 Тл.

В качестве материала исследования использовали образцы технически чистого алюминия марки А5М, химический состав которого, в соответствии с ГОСТ 21631-2019 «Листы из алюминия и алюминиевых сплавов». Усталостные испытания осуществлялись по схеме циклического несимметричного консольного изгиба в условиях многоциклового усталости с частотой нагружения $3,3 \text{ с}^{-1}$ и одновременном воздействии магнитного поля 0,3 Тл. Образцы для усталостных испытаний имели форму параллелепипеда с параметрами $4 \times 12 \times 130 \text{ мм}^3$. Имитация трещины осуществлялась двумя надрезами в виде полуокружности радиусами 22 мм. Схематическое изображение образца и его закрепления в экспериментальной установке приведено на рисунке 1.

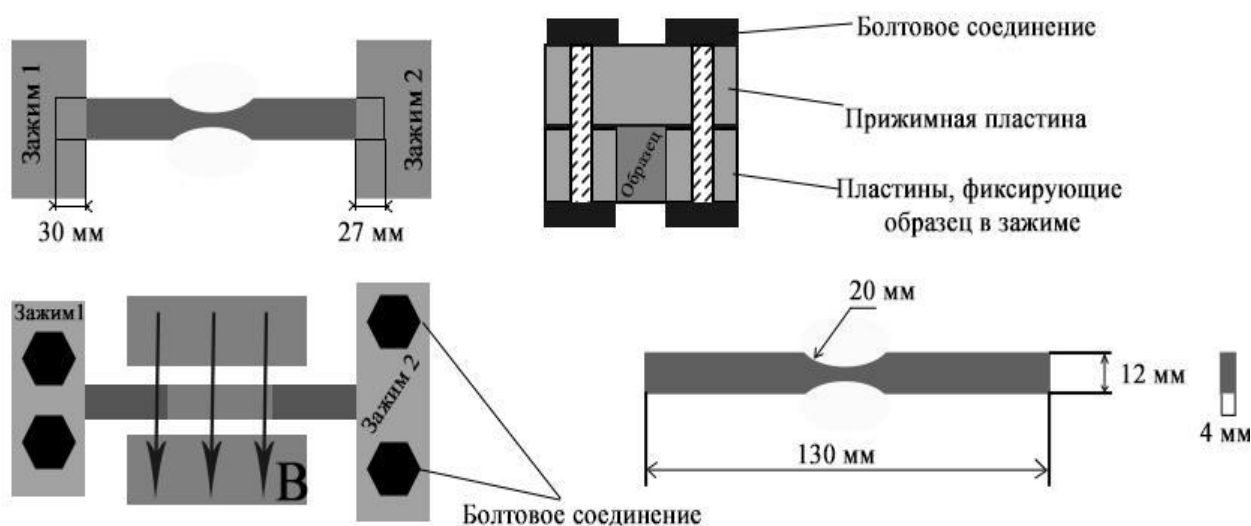


Рисунок 1 - Схематическое изображение крепления образца для испытаний в постоянном магнитном поле

В результате исследований деформационных характеристик технически чистого алюминия А5М было установлено, что при режиме нагружения, описанном выше, образцы технически чистого алюминия в исходном состоянии достигают критической деформации и разрушаются в среднем при 18742 ± 654 циклов. Применение магнитного поля постоянной геометрии 0,2 Тл приводит к увеличению на 247% количества циклов до разрушения, которое составляет в среднем 65065 ± 12137 циклов. Данные были получены по измерениям количества циклов до разрушения по 5 образцам в каждом из двух режимов. Для увеличения достоверности полученных экспериментальных результатов, ведутся дальнейшие исследования усталостной долговечности алюминия в условиях магнито-полевых воздействий.

Можно предположить, что постоянное магнитное поле способно изме-

нять деформационные характеристики технически чистого алюминия марки А5М, применение постоянного магнитного поля способно изменять макромеханические характеристики поликристаллического технически чистого титана.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-79-00118).

Библиографический список

1. Tharumarajah, A. Is there an environmental advantage of using magnesium components for light-weighting cars? / A. Tharumarajah, P. Koltun // *Journal of Cleaner Production*. – 2007. – Vol. 15. №11–12. – P. 1007–1013.
2. Hirsh, J. Aluminium in innovative light-weight car design / J. Hirsh // *Materials Transactions*. – 2011. – Vol. 52. – № 5. – P. 818–824.
3. *Advances in Manufacturing Techniques for Materials: Engineering and Engineered* / Edited by T. S. Srivatsan, T. S. Sudarshan, K. Manigandan. – London : CRC Press and Taylor & Francis Inc., 2018. – 518 p.
4. Polmear, I. J. *Light Alloys: Metallurgy of Light Metals* / I.J. Polmear. – New York : Wiley, 1995. – 525 p.
5. Gupta, M. *Magnesium, Magnesium Alloys, and Magnesium Composites* / M. Gupta, N. M. L. Sharon. – New Jersey : John Wiley & Sons, 2011. – 257 p.
6. Gwynne, B. Magnesium alloys in aerospace applications, past concerns, current solutions / B. Gwynne, P. Lyon // *Fifth Triennial International Aircraft Fire & Cabin Safety Research Conference*. – New Jersey, 2007. – P. 1–59.
7. Физические основы повышения усталостной долговечности нержавеющей сталей / Ю. Ф. Иванов, С. В. Воробьев, С. В. Коновалов [и др.]. – Новокузнецк : Интер-Кузбасс, 2011. – 302 с.
8. Терентьев, В. Ф. Циклическая прочность металлических материалов / В.Ф. Терентьев, А.А. Оксогоев. – Новосибирск : НГТУ, 2001. – 80 с.
9. Коцаньда, С. Усталостное разрушение металлов / С. Коцаньда. – Москва : Металлургия, 1976. – 456 с.
10. Багмутов, В. П. Влияние структурного состояния углеродистых сталей на усталостную прочность при электромеханическом упрочнении / В. П. Багмутов, С. Н. Паршев, В. Ю. Притыченко // *Известия Волгоградского государственного технического университета*. – 2008. – № 9(47). – С. 5–7.
11. Шарая, О. А. Механические свойства материалов / О. А. Шарая, В. Ю. Куликов, В. И. Шарый. – Караганда : КарГТУ, 2004. – 89 с.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДО 0,5Тл НА ПАРАМЕТР ПЛАСТИЧНОСТИ СВИНЦА МАРКИ С2

Серебрякова А.А., Шляров В.В.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Загуляев Д.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: aserebrakova87@gmail.com*

На основании выполненных исследований микротвердости свинца марки С2, выдержанного в магнитном поле с индукцией 0,3Тл, 0,4Тл и 0,5Тл, вычислены значения параметра пластичности материала. Установлено, что эффект влияния магнитного поля на параметр пластичности неоднозначен. Разница эффекта зависит от значения индукции магнитного поля. Показано относительное изменение параметра пластичности.

Ключевые слова: параметр пластичности, магнитное поле, свинец

В данной работе рассматривается влияние такого энергетического воздействия, как магнитное поле, на свинец марки С2. Свинец был выбран в качестве материала для исследований не случайно. Свинец широко используется в различных отраслях промышленности и в медицине [1]. Достоинствами этого металла являются его антикоррозионные свойства и стойкость к воздействию радиации. Недостаток свинца - высокая предрасположенность к пластической деформации, что, несмотря на его преимущества, не позволяет расширить сферу его применения. Учитывая этот недостаток, достаточно интересной задачей становится исследование параметра пластичности этого металла под воздействием магнитного поля, для возможной последующей разработки способа регулирования пластических свойств.

Коллективом авторов ранее были проведены исследования изменения микротвердости во внешнем магнитном поле [2], при времени выдержки 1, 2, 3 и 4 часа, которые позволили установить, что максимальный эффект влияния обнаруживается при времени обработки 1 час и выявляется сразу после экспозиции образца из магнитного поля (начальный эффект), с последующей релаксацией до исходного значения за время порядка 24 часов. Это обусловило расширение диапазона времен обработки. Анализ изменений микротвердости в условиях действия магнитного поля проводили для трех значений индукции 0,3, 0,4 и 0,5 Тл и трех времен воздействия 0,25 часа, 0,5 часа, 1 часа, сразу после выдержки образцов в магнитном поле.

Параметр пластичности был вычислен на основе измерения данных микротвердости, по формуле (1) [3]:

$$\delta_n = 1 - 14,3 \times (1 - \mu - 2 \times \mu^2) \times HV/E, \quad (1)$$

где HV – значение микротвердости,

μ - коэффициент Пуассона исследуемого материала (0,44),

E – модуль Юнга ($0,17 \times 10^5$).

По полученным в результате вычислений параметра пластичности (δ_H) данным, построены зависимости параметра от времени выдержки (0,25 ч., 0,5 ч., 1 ч.) и значений индукций магнитного поля (0,3 Тл, 0,4 Тл и 0,5Тл) (рисунок 1).

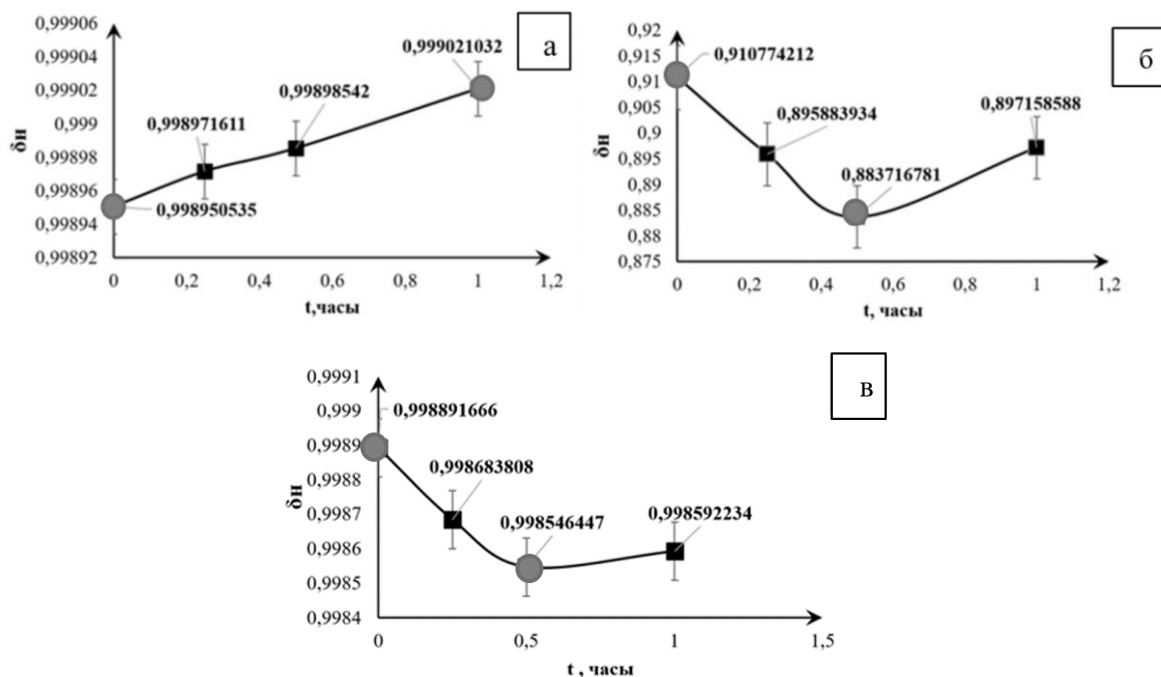


Рисунок 1 Динамика параметра пластичности свинца при выдержке в магнитном поле с индукцией 0,3 Тл (а), 0,4Тл (б), 0,5 Тл (в).

Наибольший эффект на изменение значения параметра пластичности свинца при выдержке в магнитном поле с индукцией 0,3 Тл выявлен в течение 1 часа, а при значениях индукции 0,4 и 0,5Тл максимальные изменения наблюдаются после выдержки образцов в магнитном поле в течение 30 минут.

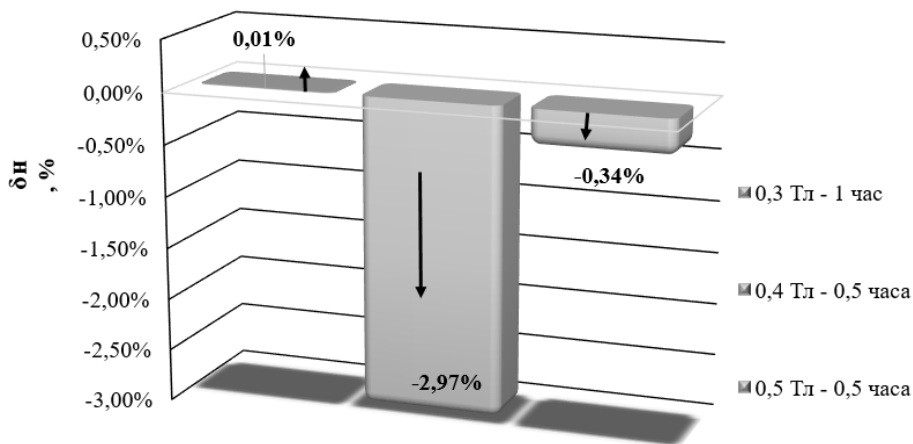


Рисунок 2 Распределение относительного изменения параметра пластичности при разных значениях индукции магнитного поля и времени обработки

Рисунок 2 демонстрирует изменение в процентах исследуемой величины. Таким образом установлено, что при обработке в течении 1 часа, при индукции магнитного поля 0,3Тл, параметр пластичности незначительно увеличивается (+0,007 %, с 0,998950535 до 999021032, серые точки на рис.1а). Наибольшее снижение параметра пластичности (-2,97 %, с 0,910774212 до 0,883716781, серые точки на рисунке 1, б) наблюдается при обработке свинца в магнитном поле с индукцией 0,4Тл, при 30 минутах экспозиции образца (средний столбец гистограммы). При обработке свинца с индукцией 0,5Тл, максимальное снижение параметра пластичности (-0,34 %, с 0,998891666 до 0,998546417, серые точки на рисунке 1, в) достигнуто при времени выдержки 30 минут. Наблюдается неоднозначный характер динамики параметра пластичности (δ_n), при индукции магнитного поля 0,3 Тл происходит повышение параметра пластичности, при индукции 0,4Тл и 0,5Тл наблюдается обратный эффект.

Библиографический список

1. Романтеев Ю.П. Металлургия тяжелых цветных металлов. Свинец. Цинк. Кадмий. - МИСИС - М., 2010. - 374 с.
2. Serebryakova A. A. Dynamics of lead micro-hardness in an external magnetic field with induction up to 0.5 T/ D. V. Zaguliaev, V.V. Shlyarov //Materials in external fields: proceedings of the 11th International online symposium on materials in external fields. - 2022. - pp.84-86
3. Мильман Ю.В. Масштабная зависимость твердости и характеристики пластичности, определяемой при индентировании / Ю. В. Мильман // Деформация и разрушение материалов, 2008. – № 8. – С. 3-10.

УДК 519.654

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Кузнецова В.А., Панова В.С.

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, профессор Коваленко В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: vikt.kowalensko@yandex.ru*

В статье рассматривается применение метода наименьших квадратов (МНК) для математической обработки экспериментальных данных при исследовании основного закона динамики вращательного движения. Приведены теоретические положения вращательного движения и метода наименьших квадратов. Показано применение МНК для определения наилучших значений параметров уравнения регрессии.

Ключевые слова: метод наименьших квадратов, вращательное движение, закон динамики, угловое ускорение, момент сил, момент инерции.

Основной закон динамики вращательного движения утверждает, что угловое ускорение тела (ε) при вращательном движении прямо пропорционально результирующему моменту сил (M), приложенных к нему, и обратно пропорционально его моменту инерции (I) [1]:

$$\varepsilon = \frac{M}{I}. \quad (1)$$

Различные физические явления и технические процессы с математической точки зрения выражаются изменением тех или иных величин, которые меняются с изменением условий опыта. Задача же измерений состоит в нахождении функциональной зависимости, которая наилучшим образом описывает закон изменения интересующей нас величины [2]. Цель исследования состояла в проверке зависимости углового ускорения тела (ε) от момента сил (M) при постоянном значении момента инерции (I) и установлении вида данной зависимости. Для достижения поставленной цели эксперимент проводился на экспериментальной установке «маятник Обербека», принципиальная схема которого представлена на рисунке 1.

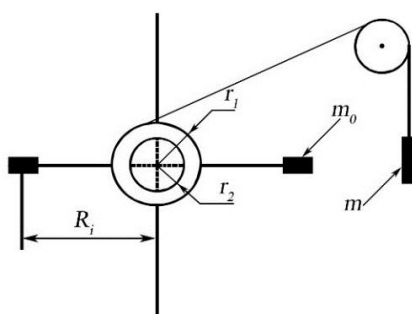


Рисунок 1 – Принципиальная схема маятника Обербека

В качестве экспериментальных зависимостей момента сил и углового ускорения выбираются уравнения (2) и (3) соответственно.

Момент силы натяжения нити:

$$M = mgr \left(1 - \frac{2h}{gt^2} \right), \quad (2)$$

где m – масса груза, подвешенного на нити,

r – радиус шкива,

h – вертикальное перемещение груза,

t – время вертикального перемещения груза.

Угловое ускорение груза:

$$\varepsilon = \frac{2h}{t^2 \cdot r}. \quad (3)$$

В процессе эксперимента проведены измерения указанных в (2) и (3) физических величин, результаты которых представлены в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1 – Результаты измерений в эксперименте с r_1

$r_1 = (0,0350 \pm 0,0005) \text{ м}$						
$m_i, \text{ кг}$	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$t_3, \text{ с}$	$t_4, \text{ с}$	$t_5, \text{ с}$	$t_{\text{ср}}, \text{ с}$
0,05	1,047	1,035	1,033	1,034	1,037	1,037
0,06	0,944	0,941	0,942	0,946	0,949	0,944
0,09	0,789	0,780	0,778	0,782	0,784	0,782
0,12	0,696	0,693	0,699	0,693	0,693	0,695
0,15	0,646	0,632	0,628	0,633	0,633	0,636

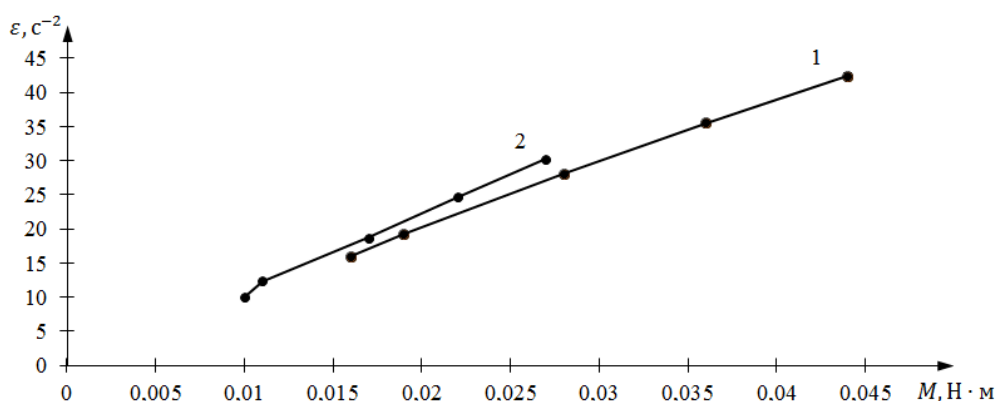
Таблица 2 – Результаты измерений в эксперименте с r_2

$r_2 = (0,0020 \pm 0,0005) \text{ м}$						
$m_i, \text{ кг}$	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$t_3, \text{ с}$	$t_4, \text{ с}$	$t_5, \text{ с}$	$t_{\text{ср}}, \text{ с}$
0,05	1,737	1,731	1,739	1,754	1,726	1,737
0,06	1,542	1,559	1,561	1,571	1,563	1,559
0,09	1,254	1,266	1,279	1,285	1,252	1,267
0,12	1,108	1,108	1,097	1,105	1,104	1,104
0,15	0,989	1,002	0,988	1,002	0,998	0,996

Таблица 3 – Результаты косвенных измерений момента сил и углового ускорения

$m_i, \text{ кг}$	$r_1 = (0,035 \pm 0,005) \text{ м}$		$r_2 = (0,020 \pm 0,005) \text{ м}$	
	$M, \text{ Н} \cdot \text{ м}$	$\epsilon, 1/\text{с}^2$	$M, \text{ Н} \cdot \text{ м}$	$\epsilon, 1/\text{с}^2$
0,05	0,016	15,94	0,010	9,94
0,06	0,019	19,24	0,011	12,34
0,09	0,028	28,03	0,017	18,69
0,12	0,036	35,49	0,022	24,61
0,15	0,044	42,38	0,027	30,24

По результатам эксперимента (таблица 3) были построены эмпирические линии регрессии, отражающие экспериментальные зависимости углового ускорения от момента сил при постоянном значении момента инерции (рисунок 2).



1 – радиус шкива r_1 , 2 – радиус шкива r_2

Рисунок 2 – Эмпирическая зависимость углового ускорения от момента сил при постоянном значении момента инерции

Как видно из рисунка 2 внешний вид эмпирических линий регрессии не удовлетворяет основному закону динамики вращательного движения (1), отражающему линейную зависимость между физическими величинами, так как экспериментальные точки не укладываются на прямую. Для установления вида теоретического уравнения регрессии было выполнено аналитическое решение, основанное на методе наименьших квадратов (МНК).

Метод наименьших квадратов позволяет определять наилучшие значения параметров и наилучшее положение эмпирической кривой относительно экспериментальных данных, при котором экспериментальные точки будут ближе расположены к эмпирической линии. Пусть даны несколько экспериментальных точек $(x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_i, y_i)$. Задача заключается в том, чтобы найти уравнение прямой (уравнение теоретической линии регрессии), проходящей через эти точки, описываемой уравнением линейной функции вида $y = ax + b$, где x – независимая переменная, a – угловой коэффициент прямой, b – свободный коэффициент.

Известная линейная теоретическая зависимость (1) позволяет решать поставленную задачу поиска теоретического уравнения регрессии в аспекте линейной зависимости. Таким образом, требуется найти такие значения a и b , чтобы сумма всех невязок была наименьшей.

Решение системы уравнений [2]:

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n (x_i^2) + b \sum_{i=1}^n (x_i) = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot y_i), \\ a \sum_{i=1}^n (x_i) + n \cdot 5 = \sum_{i=1}^n (y_i). \end{cases} \quad (4)$$

позволяет рассчитать коэффициенты a и b по формулам:

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i \cdot y_i) - \sum_{i=1}^n (x_i) \cdot \sum_{i=1}^n (y_i)}{n \sum_{i=1}^n (x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}; \quad (5)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i) \cdot \sum_{i=1}^n (x_i^2) - \sum_{i=1}^n (x_i) \cdot \sum_{i=1}^n (y_i)}{n \sum_{i=1}^n (x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}. \quad (6)$$

За x принимаем момент силы натяжения нити M , за y принимаем угловое ускорение маятника ε , количество измерений n равно 5.

Таким образом, были получены значения коэффициентов a и b теоретических уравнений регрессии (таблица 4).

Таблица 4 – Результаты расчетов и теоретические уравнения регрессии

$r_1 = (0,035 \pm 0,005) \text{ м}$		$r_2 = (0,020 \pm 0,005) \text{ м}$	
$a, (\text{кг} \cdot \text{м}^2)^{-1}$	$b, (\text{с})^{-2}$	$a, (\text{кг} \cdot \text{м}^2)^{-1}$	$b, (\text{с})^{-2}$
944,242	1,211	1163,968	-1,089
теоретическое уравнение регрессии $\varepsilon = 944,242 \cdot M + 1,211$		теоретическое уравнение регрессии $\varepsilon = 1163,968 \cdot M - 1,089$	

По результатам эксперимента (таблица 3 и 4) были построены теоретические линии регрессии, удовлетворяющие экспериментальным данным зависимости углового ускорения ε от момента сил M при постоянном значении момента инерции I (рисунок 3).

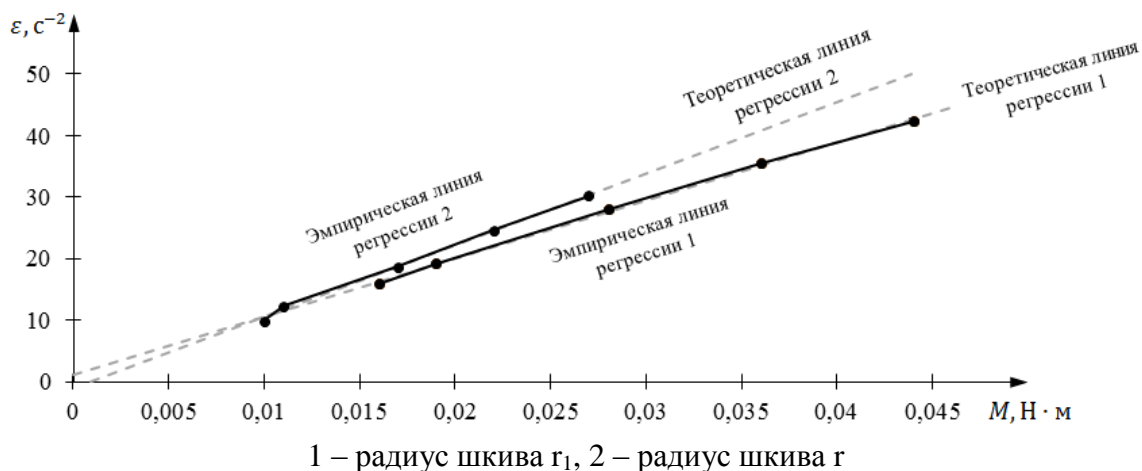


Рисунок 3 – Зависимость углового ускорения от момента сил.

Для оценки «тесноты связи» эмпирической и теоретической линий регрессии был рассчитан коэффициент парной корреляции по формуле (7):

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\sigma_x \cdot \sigma_y}, \quad (7)$$

где $\sigma_x = \sqrt{\overline{x^2} - (\bar{x})^2}$ – среднее квадратичное случайной величины x ,
 $\sigma_y = \sqrt{\overline{y^2} - (\bar{y})^2}$ – среднее квадратичное случайной величины y .

Таблица 5 – Результаты расчета коэффициента парной корреляции

$r_1 = (0,035 \pm 0,005) \text{ м}$					$r_2 = (0,020 \pm 0,005) \text{ м}$				
x	y	x·y	x ²	y ²	x	y	x·y	x ²	y ²
0,016	15,94	0,255	0,00026	254,084	0,010	9,94	0,099	0,0001	98,804
0,019	19,24	0,366	0,00036	370,178	0,011	12,34	0,136	0,00012	152,276
0,028	28,03	0,785	0,00078	785,681	0,017	18,69	0,318	0,00029	349,316
0,036	35,49	1,278	0,00130	1259,540	0,022	24,61	0,541	0,00048	605,652
0,044	42,38	1,865	0,00194	1796,064	0,027	30,24	0,817	0,00073	914,458
сумма									
0,143	141,08	4,548	0,00463	4465,547	0,087	95,82	1,911	0,00172	2120,505
среднее									
0,029	28,216	0,910	0,00093	893,109	0,017	19,164	0,382	0,00034	424,101

Для случая с r_1 коэффициент парной корреляции равен 1, для случая с r_2 коэффициент парной корреляции равен 0,999.

Вывод. В работе проведено исследование зависимости углового ускорения тела ε от момента сил M при постоянном значении момента инерции и экспериментально подтвержден основной закон динамики вращательного движения. Методом наименьших квадратов получено теоретическое уравнение регрессии, подтверждающее линейную зависимость в законе динамики вращательного движения.

Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс общей физики : учебное пособие для вузов : в 3 т. Т.1 . – : Механика. Молекулярная физика / И.В. Савельев – СПб. : Лань, 2008. – 432 с.
2. Коваленко В. В. Основы метрологии и обработки результатов измерений : учебное пособие / Сиб. гос. индустр. ун-т ; сост. В.В. Коваленко. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2016. – 96 с.

УДК 622.6

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И МИКРОТВЕРДОСТИ ПОКРЫТИЯ ИЗ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Co-Cr-Fe-Ni, НАНЕСЕННОГО НА СПЛАВ АМг5 С ПОМОЩЬЮ ПРОВОЛОЧНО-ДУГОВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Авчинник А.В.¹, Осинцев К.А.^{1,2}, Панченко И.А.¹

**Научные руководители: д-р техн. наук, профессор Коновалов С.В.^{1,2},
д-р физ.-мат. наук, профессор Громов В.Е.²**

¹*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, e-mail: kirilloss@yandex.ru*

²*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, ksv@ssau.ru*

С помощью проволочно-дугового аддитивного производства были сформированы покрытия на подложке алюминиевого сплава АМг5. Исследованы микроструктура и микротвердость поперечного сечения покрытия, а также микрорентгеноспектральный анализ. Выявлен ступенчатый характер изменения микротвердости и внедрение элементов покрытия в слой подложки толщиной до 100 мкм.

Ключевые слова: высокоэнтропийный сплав, проволочно-дуговое аддитивное производства, сплав алюминия, микроструктура, микротвердость.

В настоящее время одними из перспективных типов сплавов являются высокоэнтропийные сплавы (ВЭС), обладающие уникальными физическими и механическими свойствами. Их отличительной особенностью является

наличие в составе не менее пяти основных элементов с концентрациями от 5 до 35 ат. % [1]. Главной особенностью ВЭС является формирование однофазного стабильного термодинамически устойчивого и высокопрочного твердого раствора замещения преимущественно с ГЦК или ОЦК кристаллической решеткой.

Материалом исследования были образцы системы «покрытие/подложка». Покрытием являлся высокоэнтропийный сплав системы Al-Co-Fe-Cr-Ni, который был сформирован на подложке методом проволоочно-дугового аддитивного производства. Исходная проволока имела состав, описанный в предыдущей работе авторов [2]. Скорость подачи проволоки составляла 8,5 м/мин, сила тока 90 А, напряжение 19 В, индуктивность 1 Гн, скорость перемещения от 200 до 220 мм/мин с ускорением 42 мм/мин², длина слоя 100 мм, угол перемещения горелки 10°, расстояние от контактного накопечника до подложки 19 мм. Наплавка проводилась в атмосфере инертного газа (Ar ≈ 99,99 %) со скоростью подачи 15 л/мин. Подложкой являлся алюминиевый сплав АМг5 толщиной 6 мм. Методом СЭМ исследовали структуру и элементный состав покрытия и прилегающего к покрытию слоя подложки. Свойства покрытия и подложки характеризовались микротвердостью.

Исследование микротвердости поперечного сечения показало, что в объеме покрытия значения микротвердости изменяются в пределах (6,6-6,2) ГПа и возрастают до 7,6 ГПа на границе с подложкой. Твердость подложки у границы с покрытием достигает значений (1,5-1,6) ГПа и снижается до 1,1 ГПа на расстоянии 5 мм от границы. Таким образом, микротвердость покрытия в 5 раз превышает микротвердость подложки и ее изменение имеет ступенчатый характер.

Исследование микроструктуры поперечного сечения образцов выявило структуру, характерную для двухфазного материала, в котором в объеме основной фазы присутствуют включения второй фазы. Включения второй фазы имеют округлую и располагаются по границам зерен основной фазы. Размеры включений второй фазы изменяются в пределах от 2 мкм до 9 мкм. Следует также отметить присутствие в покрытии микротрещин. Слой подложки, прилегающий к покрытию, имеет игольчатую структуру, что свидетельствует о легировании подложки химическими элементами покрытия с последующими фазовыми превращениями.

Элементный анализ покрытия показал неоднородное распределение элементов в зависимости от расстояния от подложки. Химический состав на расстоянии 100 мкм от поверхности покрытия содержит следующие элементы: Al 31 ат. %, Cr 12 ат. %, Fe 22 ат.%, Co 6 ат. %, Ni 29 ат. %. При приближении от поверхности покрытия к границе с подложкой содержание алюминия увеличивается от 31 до 32 ат. %, что может быть обусловлено внедрением атомов алюминия из подложки в ванну расплава при наплавке. Содержание кобальта и железа снижается при приближении к подложке. Состав покрытия вблизи подложки составляет: Mg 2 ат. %, Al 32 ат. %, Cr 10 ат. %, Fe 20 ат.%, Co 6 ат. %, Ni 31 ат. %. Таким образом, в результате исследования

покрытия из высокоэнтропийного сплава системы Al-Co-Cr-Fe-Ni, нанесенного с помощью проволочно-дугового аддитивного производства на подложку из сплава АМг5, установлено формирование градиентной структуры, характеризующейся закономерным изменением микротвердости.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 20-19-00452).

Библиографический список

1. Yeh J.W., Chen S.K., Lin S.J., Gan J.Y., Chin T.S., Shun T.T. Tsau C.H., Chang S.Y. Nanostructured high-entropy alloys with multiple principal elements: Novel alloy design concepts and outcomes // *Adv. Eng. Mater.* 2004. Vol. 6, № 5. P. 299–303.

2. Osintsev K.A., Konovalov S.V., Glezer A.M., Gromov V.E., Ivanov Yu.F., Panchenko I.A., Sundeev R.V. Research on the structure of Al_{2.1}Co_{0.3}Cr_{0.5}FeNi_{2.1} high-entropy alloy at submicro- and nano-scale levels // *Mater. Lett.* 2021. Vol. 294. P. 129717.

УДК 622.6

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Co-Cr-Fe-Ni, ПОЛУЧЕННОГО С ПОМОЩЬЮ ПРОВОЛОЧНО-ДУГОВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Осинцев К.А.^{1,2}, Данилушкин В.С.², Епифанцев М.А.², Воронин С.В.²,
Научные руководители: д-р техн. наук, профессор Коновалов С.В.^{1,2},
д-р физ.-мат. наук, профессор Иванов Ю.Ф.^{1,3}**

¹*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, ksv@ssau.ru*

²*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, Самара, kirilloss@yandex.ru*

³*Институт сильноточной электроники СО РАН,
г. Томск, yufi55@mail.ru*

Проведено исследование влияния электронно-пучковой обработки на напряженно-деформированное состояние сплава системы Al-Co-Cr-Fe-Ni, полученного с помощью проволочно-дугового аддитивного производства. Электронно-пучковая обработка приводит к снижению модуля Юнга в среднем на 28 % в переплавленном слое для режимов обработки с плотностью энергии от 10 до 30 Дж/см². Это приводит к уменьшению напряжения, которое может выдержать сплав до разрушения.

Ключевые слова: высокоэнтропийный сплав, проволочно-дуговое аддитивное производство, импульсный электронный пучок, конечно-элементное моделирование, модуль Юнга.

Одним из стремительно развивающихся направлений современного материаловедения является исследование высокоэнтропийных сплавов, которые, в отличие от традиционных сплавов, состоят из пяти и более основных элементов, варьирующихся от 5 до 35 ат. % [1]. Электронно-пучковая обработка является одним из методов улучшения поверхностных свойств материалов. Благодаря высоким энергиям воздействия и высокоскоростному плавлению и кристаллизации эта технология измельчает микроструктуру поверхности и формирует плотный и однородный защитный слой [2]. Поскольку высокоэнтропийные сплавы являются перспективными материалами для различных отраслей, в том числе для применения в деталях, подвергающихся нагружению, изучение влияния электронно-пучковой обработки на напряженно-деформированное состояние является актуальным.

В качестве исследуемого материала в данной работе использовались образцы из сплава системы Al-Co-Cr-Fe-Ni, изготовленные с помощью проволочно-дугового аддитивного производства и обработанные электронным пучком с плотностью энергии от 10 до 30 Дж/см²[3]. Конечно-элементное моделирование проводилось с целью определения напряженно-деформированного состояния полученных образцов при одноосном растяжении и сжатии. С помощью силовой зондовой микроскопии проводились измерения модуля Юнга в зависимости от расстояния от поверхности обработки и задавались для модели в программе SIMULIA ABAQUS. Граничные условия обеспечивали идеальное состояние одноосного растяжения и сжатия с приложением усилия 2100 МПа.

Измерение модуля упругости показало, что его значение в подложке составляет 79 ± 9 МПа. Электронно-пучковая обработка с плотностью энергии пучка электронов от 10 до 30 Дж/см² приводит к снижению модуля Юнга в переплавленном слое в среднем на 28 %. Такое снижение может быть обусловлено переплавлением тонкого поверхностного слоя до 20 мкм и снятию внутренних напряжений, накопившихся в результате наплавки. Уменьшение модуля Юнга на 40 % достигается при электронно-пучковой обработке с плотностью энергии 15 Дж/см², а наименьшее – при 25 Дж/см² и составляет 16 %. Остальные режимы вызывают изменение в значении модуля Юнга слоя на расстоянии до 3 мкм от поверхности не более, чем на 30 %. Таким образом, электронно-пучковая обработка приводит к уменьшению значения модуля Юнга в поверхностном слое высокоэнтропийного сплава системы Al-Co-Cr-Fe-Ni до 40.

Результаты проведения конечно-элементного моделирования идеального одноосного растяжения и сжатия показали, что электронно-пучковая обработка вызывает уменьшение напряжения до 39 % (при 15 Дж/см²), которое может выдержать образец до разрушения. Максимальные напряжения до разрушения (1639, 1681 и 1523 МПа) возникали в поверхностном слое (3 мкм) образцов, обработанных с плотностью энергии пучка электронов 10, 25 и 30 Дж/см², соответственно. Наибольшей однородностью распределения напряженно-деформированного состояния характеризуются образцы, обра-

ботанные с плотностью энергии 10, 15 и 30 Дж/см². Конечно-элементные модели одноосного растяжения (сжатия) данных образцов, показали, что максимальные напряжения, возникающее в поверхностных слоях отличаются между собой не более, чем на 5 %, что свидетельствует о том, что изменение плотности энергии пучка электронов не приводит к существенным различиям в напряженно-деформированном состоянии после обработки.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 20-19-00452).

Библиографический список

1. Miracle D.B., Senkov O.N. A critical review of high entropy alloys and related concepts // Acta Mater. Elsevier Ltd, 2017. Vol. 122. P. 448–511.
2. Proskurovsky D.I. Rotshtein V.P., Ozur G.E., Markov A.B., Nazarov D.S., Shulov V.A., Ivanov Yu.F., Buchheit R.G. Pulsed electron-beam technology for surface modification of metallic materials // J. Vac. Sci. Technol. A Vacuum, Surfaces, Film. 1998. Vol. 16, № 4. P. 2480–2488.
3. Osintsev K.A. Gromov V.E., Konovalov S.V., Ivanov Y.F., Panchenko I.A., Chen X. Effect of Pulsed-Electron-Beam Irradiation on the Surface Structure of a Non-Equiatomic High-Entropy Alloy of the Al–Co–Cr–Fe–Ni System // J. Surf. Investig. 2021. Vol. 15, № 4. P. 846–850.

УДК 622.6

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ АЛЮМИНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ПРОВОЛОЧНО-ДУГОВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Лей Х.¹, Чэнь С.^{1,2,3}

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Коновалов С.В.^{1,2}

¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, e-mail: huangleichinawzu@gmail.com

²Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, ksv@ssau.ru

³Университет Вэньчжоу, г. Вэньчжоу, e-mail: chenxizhang@wzu.edu.cn

Для изучения влияния внешнего магнитного поля на структуру материала аддитивного производства был проведен сравнительный эксперимент между внешним магнитным полем аддитивного производства алюминиевых сплавов и обычным аддитивным производством алюминиевых сплавов. Полученные результаты показывают, что внешнее магнитное поле повышает ликвидность расплавленной ванны аддитивного производства алюминиевых сплавов. Благодаря анализу, проведенного методами сканирующей электронной микроскопии, в случае, когда магнитная индукция меньше 3 мТл, внешний вид наплавленного алюминиевого сплава имеет более равномер-

ную и плотную структуру, однако, когда магнитное поле имеет магнитную индукцию больше 3 мТл, внешний вид наплавленных алюминиевых сплавов ухудшается.

Ключевые слова: аддитивное производство проволоочной дуги, внешнее магнитное поле, микроструктура, структура, алюминиевый сплав.

Wire arc additive manufacturing (WAAM) has a high deposition rate, high material utilization rate, high cost performance, and dense microstructure. Aluminum alloy is widely used in Arc additive manufacturing, however, only the ARC Energy is used for additive manufacturing often have a lot of defects. In this research, an additional electromagnetic field is introduced to study its effect on the deposited microstructure.

Deposition was carried out by using advanced 4000R NC with WPC-600 multifunctional argon arc welding wire feeder to control CMT welding machine. Load the test with a magnetic field through an external magnetic field adder.

Through the establishment of comparative experiments, the WAAM processing was first observed, and it was found that the applied magnetic field had an impact on the morphology of the arc, which increased the fluidity of the melten pool. When the magnetic field is small, the impact of the arc is small, when the magnetic field strength is increased, the arc is suppressed, and when the magnetic field strength was greater than 15mt, the arc cannot afford the arc, the melten pool collapse.

By the analysis of scanning electron microscope (SEM), the results shown that when the magnetic field was small, compared to conventional aluminum arc additive manufacturing of the same parameters (wire feed speed of 6m/min), the grains of WAAM deposition were more dense, however, when increasing the magnetic field strength, the poor appearance of the deposition were aggravated.

When the additional magnetic field is small, it is possible to play a role in optimizing the deposition of WAAM grains, however, when the magnetic field strength is increased to 3mT, the impact of the magnetic field on the microstructure in the deterioration, which toward the direction of coarse grains.

II ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.852.2

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА В РАЙОНАХ ВЕДЕНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА ПРИМЕРЕ УГЛЕРАЗРЕЗА «РАСПАДСКИЙ» И УЧАСТКА РАЗРЕЗА «ОЛЬЖЕРАССКИЙ»

Андропова В.С.

Научный руководитель: д-р. геол.-минерал. наук, профессор Гутак Я.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: Viktorijanumber1@mail.ru*

Статья посвящена оценке изменений водного поверхностного стока связанных с техногенной трансформацией рельефа, посредством разработанной методики, основанной на многомерной статистической обработке данных о современном и историческом рельефе. Полученные данные говорят о том, что открытые горные работы приводят к вертикальной расчлененности рельефа, но при этом водные поверхностные стоки сохраняют свою генеральную направленность.

Ключевые слова: поверхностные водные стоки, открытые горные работы, трансформация рельефа, исторический рельеф, современный рельеф.

В настоящее время, добыча полезных ископаемых открытым способом, сопровождается серьёзными изменениями окружающей экосистемы. Изменения захватывают территории площадью в десятки и сотни квадратных километров. При этом коренным образом меняется исторически сложившийся рельеф, уничтожаются естественные ландшафты, меняется характер поверхностного стока. При этом оценка экологических преобразований зачастую ведется только на основе качественных, часто субъективных показателей [1]. В этом смысле важно придать геоэкологической оценке измененных территорий количественные показатели. К настоящему времени автором разработана методика оценки количественных изменений техногенной трансформации рельефа, основанная на многомерной статистической обработке данных о современном и историческом рельефе (докладывалась на III Всероссийской научной конференции с международным участием «Фундаментальные и прикладные аспекты устойчивого развития ресурсных регионов», посвященная Году науки и 300-летию Кузбасса, г. Новокузнецк, 7-10 декабря 2021 г.). Одновременно с изменениями исторического рельефа серьезно меняется и характер поверхностного стока, вплоть до полной деградации речной сети и грунтовых вод. Эти изменения также требуют своего детального изучения и описания.

В настоящей работе предпринята попытка описаний изменений поверхностного стока под воздействием открытых горных работ которые произошли на участках предприятия разреза «Распадский» и разреза «Ольжерасский» (участок «Распадский»), расположенном неподалеку от г. Междуреченска правобережье р. Уса (бассейн р. Ольжерас) (рисунок 1).

Исторический рельеф, который существовал до начала открытых горных работ на исследуемой территории, принадлежит к южному геоморфологическому району Кузнецкой котловины, с развитым низкогорным рельефом у границ с Горной Шорией и Кузнецким Алатау. Эта территория представляет собой сочетание вытянутых в северном и северо-западном направлении уплощенных водоразделов и параллельных им глубоко врезанных долин рек вдоль общего уклона поверхности. Перепад высоты на исследуемой территории составляет 332 метра. Максимальной высотной отметкой является значение + 650 (хр. Кузухтух Тас), минимальной +332 (р. Южный Ольжерас) [2].

Речная сеть на этой территории была представлена реками Ольжерас и его левыми притоками (руч. Средний, Дорожный, Южный и Восточный Ольжерас). Кроме перечисленных в площадь разреза попадают верховья правых притоков р. Уса реки. Куштубой, Тундра и Малая Березовая однако влияние разреза на них минимально.

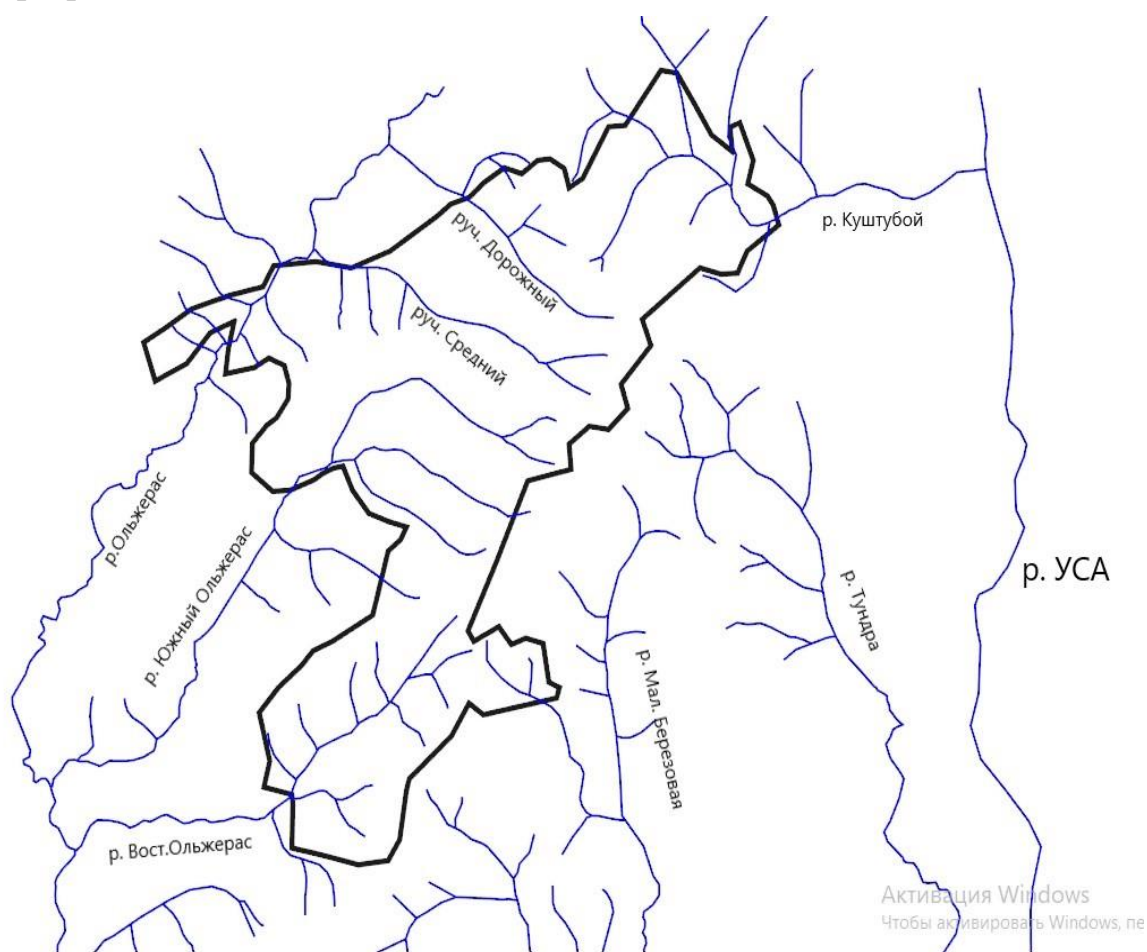


Рисунок 1 – Речная сеть до начала открытых горных работ

Анализ детальных спектрально-аэрофотоснимков изучаемой территории показал, что в условиях резкого усиления вертикальной дифференциации рельефа (увеличение высотных отметок водоразделов, за счет формирования отвалов угольного карьера и уменьшения отметок в забое углеразреза) характер поверхностного стока кардинальным образом меняется. В пределах территории разреза полностью исчезают поверхностные водотоки (рч. Восточный и Южный Ольжерас, Средний и Дорожный). Это обусловлено формированием в верхней части скальных пород ложа углеразреза зоны повышенной трещиноватости (следствие взрывных работ). Последняя поглощает поверхностные водотоки и приводит к доминированию на площади подземного стока. Положение зеркала грунтовых вод подчиняется современному техногенному рельефу. На его перегибах и в районах созданных уплотнений (трассы карьерных дорог) грунтовые воды выходят на поверхность и формируют цепь карьерных озер (рисунок 2), которые вытянуты по простиранию углеразреза. Последние выступают в роли промежуточных отстойников и способствуют очищению карьерных вод от взвешенной угольной пыли.

Генеральное направление движения грунтовых вод совпадает с простиранием углеразреза и направлением ранее протекавших на этом месте водотоков. Оно подчеркивается конфигурацией карьерных озер.

Можно констатировать частичную деградацию ручья Восточный Ольжерас с сохранением подземного стока в его бассейне и полное исчезновение рч. Восточный Ольжерас. Весь подземный сток в его бассейне искусственно переведен в бассейн расположенного южнее безымянного ручья, в котором сформирован конечный отстойник разреза. При этом сформировавшимся локальным бассейном перехвачены верховья рч. Куштубой.

Главный элемент-загрязнитель в карьерных водах разреза – угольная пыль. Значительная часть ее оседает во временных водоотстойниках карьера и финальном отстойнике [3]. Некоторая ее часть попадает в воды р. Ольжерас, придавая ей темную окраску, однако последнее не влияет существенным образом на качество воды. Даже в конечном отстойнике ее качество вполне удовлетворительное. Последнее можно подтвердить примером из расположенного неподалеку отстойника разреза «Сибиргинский» в басс. р. Мрассу. В нем вполне комфортно живут речные рыбы; карась и окунь, а в последнее время заселились бобры (индикатор чистой воды). Да, вода отстойника темная, да угольную пыль полностью осадить не удастся. Она как ледниковое молоко в реках Горного Алтая переносится речными потоками в коллоидном состоянии до конечного бассейна стока (Северного Ледовитого океана). Но это естественный процесс, угольная пыль попадала в воды р. Томь и раньше из слоев каменного угля выходящих на поверхность (отсюда и темная окраска воды, которая особенно заметна в месте впадения реки в Обь).

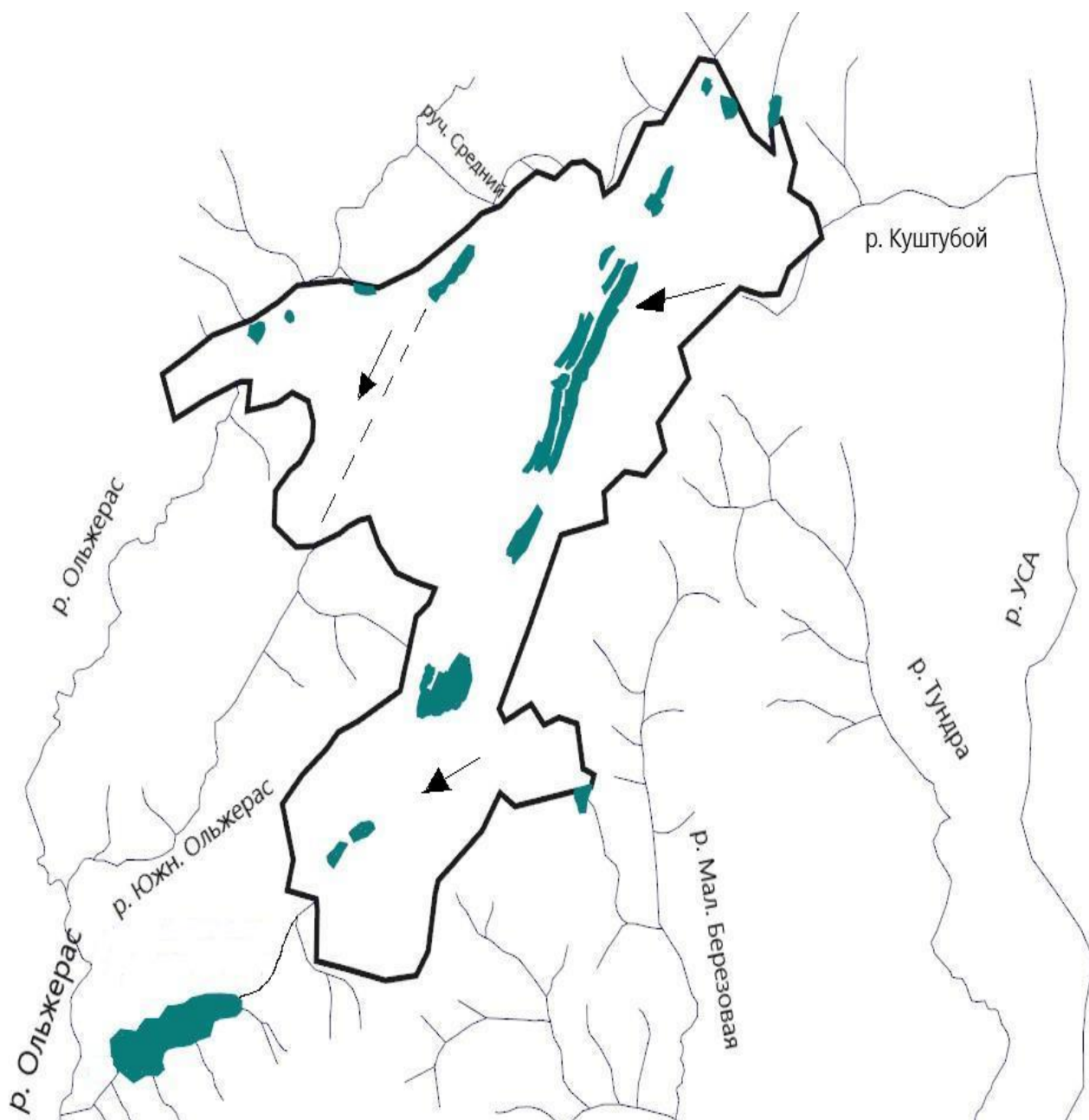


Рисунок 2 – Современный поверхностный сток воды в пределах углераза «Распадский» (участок «Ольжерасский») (стрелками показано направление движения зеркала грунтовых вод)

Таким образом, можно констатировать, что в районах, где открытые горные работы приводят к усилению вертикальной расчлененности рельефа без принципиального его изменения поверхностный сток сохраняет свою генеральную направленность. При этом большая его часть приходится на подземную составляющую (грунтовые воды). Такое перераспределение поверхностного стока благоприятным образом влияет на очистку вод от загрязняющих элементов, что с учетом организации конечного отстойника минимизирует вредные последствия для окружающей экосистемы.

Библиографический список

- 1 Справочник экология [Электронный ресурс]: Изменение ландшафта. – Электронная версия. Режим доступа: <https://ru-ecology.info/term/4283/> (дата обращения 25.02.2022).
- 2 История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. Алтае-Саянская горная область [Текст] / ред. С.А. Стрелкова и В.В. Вдовина : Изд-во Наука. Москва, 1969. – 195 с.
- 3 Красавин, А.П. Защита окружающей среды в угольной промышленности [Текст]: учеб. для вузов./ А.П. Красавин – Изд-во Недра. Москва 1991. – С.76–81.

УДК 622/882

СПОСОБ МЕХАНОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Курдюков М.О., Воротчек А.О., Егоров В.В., Матвеев А.В.

Научный руководитель: канд. техн. наук, профессор Чаплыгин В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: chief.a.v@mail.ru*

Рассмотрена актуальность использования способа механогидравлической рекультивации выработанного пространства открытых горных выработок в существующих реалиях.

Ключевые слова: технологическая схема, рекультивация, гидромонитор, намыв пород, закладочная карта, пульповод, дамба, трубчатый дренаж, сброс воды.

Большой негативный вклад в процессы деградации и уничтожения почвенного покрова, с образованием в зоне действия объектов техногенных ландшафтов на территории Кемеровской области – Кузбасса вносят горнодобывающие предприятия.

За 2020 год выдано 90 новых лицензий и выдано 22 дополнения к лицензиям на пользование недрами. В настоящее время в Кузбассе 160 действующих и 106 строящихся шахт и разрезов [1].

В области рационального землепользования и технологий производства работ по рекультивации известны исследования П.И. Томакова, В.С. Коваленко, М.И. Барсукова, А.М. Михайлова, В.И. Титовского, А.Г. Калашникова, А.М. Бабец, И.И. Русского, Я.В. Панкова, А.К. Полищука, А.Н. Лукянова, А.М. Гальперина, Шеф Х.Ю. и др. [2].

В 60-80 гг. прошлого века на карьерах и разрезах широкое применение получила гидромеханизация вскрышных работ, а также гидромеханизация

использовалась и для рекультивации нарушенных горными работами земель. Опыт гидромеханизации вскрышных работ показывает, что технологические процессы гидравлического вскрытия месторождений и рекультивация открытых горных выработок практически идентичны, за исключением нескольких операций [3].

Большое количество регламентирующих документов посвящены направлениям классификации: нарушенных земель для биологической рекультивации, малопродуктивных угодий, вскрышных и вмещающих пород для рекультивации, пригодности нарушенного плодородного слоя почв для землевания, а также правилам: рекультивации земель, охраны природы, землевания и плодородного слоя почвы при производстве земляных работ.

На основании вышеизложенного, возникает следующий вопрос: каким должен быть восстановленный рельеф поверхности земли, какими характеристиками и параметрами он должен обладать.

Также проблема рационального и комплексного подхода к производству работ способом механогидравлической рекультивации на сегодняшний день не решена. Поэтому работа представляет практический интерес с точки зрения поиска дешевого и технологичного способа производства работ необходимого для снижения социальной и техногенной нагрузки на территории Кемеровской области – Кузбасса.

Цель данной работы заключалась в установлении и уточнении зависимостей и закономерностей взаимодействия процессов механогидравлической рекультивации открытых горных выработок, обеспечивающих совмещение во времени и разделении в пространстве открытых горных работ и рекультивации земель.

Задачей исследований являлось создание методической базы для проектирования процессов механогидравлической рекультивации открытых горных выработок, обеспечивающих высокий уровень производственной и экологической безопасности что имеет важное значение для развития рекультивации и экологии Кузбасса.

Авторами настоящей статьи проведен комплекс исследований, базирующийся на обобщении результатов исследований нормативных документов, практики проектирования и передового производственного опыта совмещения и разделения в пространстве и времени открытых горных работ с рекультивацией земель. Разработаны концепция и методическая база проектирования, обоснованы параметры и технологические решения для способа ускоренной механогидравлической рекультивации выработанного пространства открытых горных выработок.

На сегодняшний день, способ ускоренной механогидравлической рекультивации представляет собой оптимальное техническое решение, позволяющее сделать более рентабельным процесс заполнения выработанного пространства открытых горных выработок пустыми породами при сравнении с использованием «классической» технологии «экскаватор-самосвал-бульдозер».

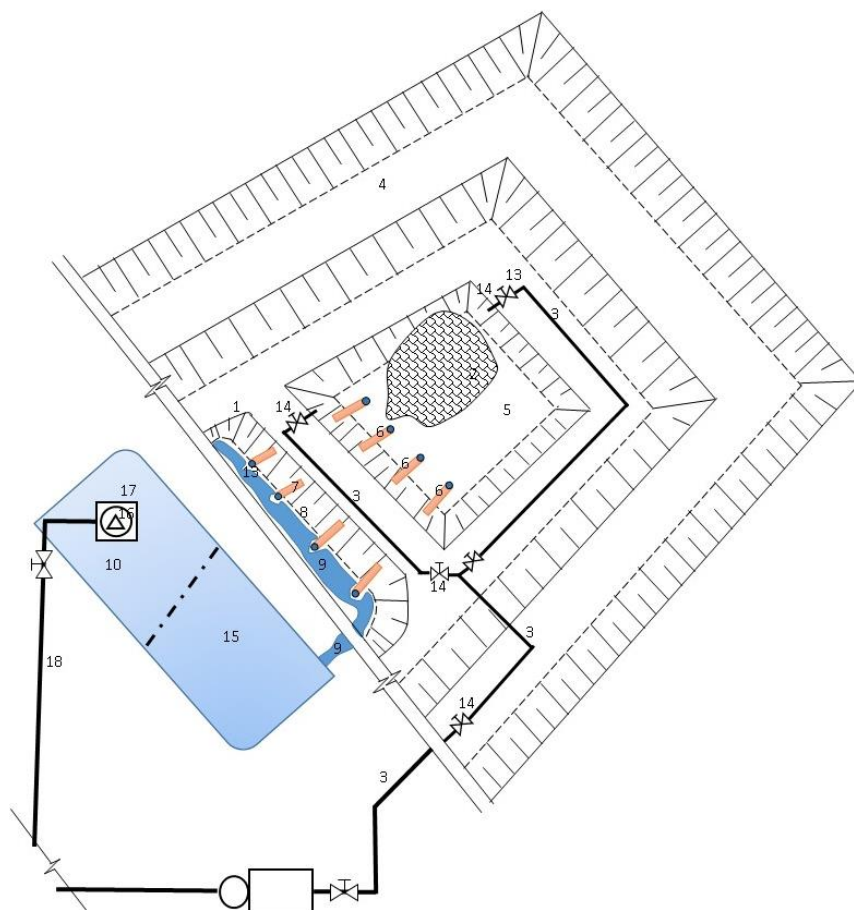


Рисунок 1 – Технологическая схема способа ускоренной рекультивации выработанного пространства открытых горных выработок

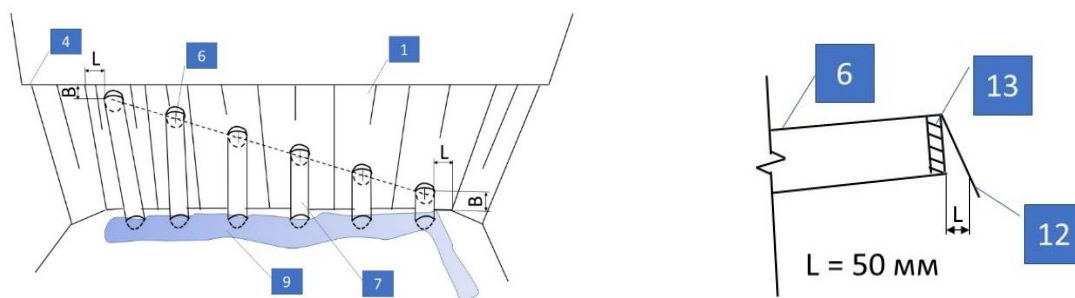


Рисунок 2 - Конструкция трубчатых дренажей

Способ ускоренной механогидравлической рекультивации выработанного пространства открытых горных выработок включает в себя: отсыпку автотранспортом или намыв дамбы 1 для гидроотвала 2 вскрышных пород; укладку пульповода 3 на уступе разреза 4 или дамбе 1, намыв горных пород и заполнение карты 5, дренаж воды через тело дамбы 1 и трубчатые дренажи 6 расположенные в теле дамбы 1, водосброс дренажных вод 7 по трубам на внешнем откосе 8 дамбы в дренажные каналы 9 гидравлически соединенные с отстойником 10, подачу воды на пульпоформирование и подачу пульпы на гидрозакладку [4].

Библиографический список

1. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2020 году, г. Кемерово, 2021г.
2. Методические указания по проектированию рекультивации нарушенных земель на действующих и проектируемых предприятиях угольной промышленности.
3. Технология механогидравлической рекультивации нарушенных земель. ГИАБ №4 2017, с 415-419 Сенкус ВВ., Ермаков А.Ю., Сенкус В.В.
4. Патент 2737300 РФ. Способ ускоренной механогидравлической рекультивации выработанного пространства открытых горных выработок /Гинеборг А.П., Сенкус Вит.В., Болтрукевич Д.П., Новожилова О.С., Сенкус Вал.В., Чаплыгин В.В., Сенкус Вас.В., Булаева А.М., Шестакова Н.Г., Волошин В.А., Матвеев А.В., Мосин О.Д. // Бюл. – 2020. - №33.
5. Методические указания по проектированию рекультивации нарушенных земель на действующих и проектируемых предприятиях угольной промышленности.

УДК 622.882

ПОРЯДОК ЗАПОЛНЕНИЯ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК СПОСОБОМ МЕХАНОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Галямова А.А., Дробинин А.В., Кузнецова О.Г., Матвеев А.В.

Научный руководитель: канд. техн. наук, профессор Чаплыгин В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: chief.a.v@mail.ru*

Рассмотрена актуальность использования способа механогидравлической рекультивации выработанного пространства открытых горных выработок в существующих реалиях.

Ключевые слова: технологическая схема, рекультивация, гидромонитор, намыв пород, закладочная карта, пульповод, дамба, трубчатый дренаж, сброс воды.

Для ускорения осаждения взвешенных частиц, дренажа воды из гидротвала и повышения устойчивости дамбы, ее отсыпают или намывают отсортированными скальными породами размером от 10 до 140 мм из вскрышных отвалов. В теле дамбы с углом наклона 5-6° в сторону разреза укладывают ступенчато равномерно трубчатые дренажи по всей длине. Трубчатые дренажи со стороны гидротвала закрывают пластинчатой решеткой с горизонтальным расположением щелей, имеющих ширину 10 мм и углом наклона пластин 55°, также имеющей зазор с нижним краем трубы дренажа 50 мм.

Со стороны выработки вода сбрасывается в дренажную канаву разреза, проложенную вдоль дамбы, связанную с системой дренажных канав, сбрасывающих воду в отстойник, и далее в пруд-отстойник, разделенный на две части плавающей перегородкой для загрязненной и отстоявшейся воды.

Заполнение карты производится последовательно от участка, находящегося на противоположной стороне от нижнего трубчатого дренажа, обратным ходом, а от участка нижнего трубчатого дренажа до верхнего прямым ходом с наращиванием пульповода, при этом, сокращаемый и наращиваемый пульповод укладывается на уступе разреза или дамбе и имеет равномерно расположенные выпуски с запорной арматурой, к которым могут быть подключены гибкие рукава для качественной закладки карты после уплотнения грунта.

Расстояние между дренажными трубами равно длине фронта отвальных работ, и определяется по формуле:

$$L = 0,01 \sum_{d_{10}}^{d_{140}} F_i L_i, \quad (1)$$

где F_i – содержание фракций от d_{10} до d_{140} ;

L_i – длина намывной зоны каждой из i -х фракций пород, м;

$$L_i = \frac{F_i \frac{\gamma_{ci}}{\gamma_{cn}}}{F_1 + F_2 \frac{\gamma_{c1}}{\gamma_{c2}} + \dots + F_n \frac{\gamma_{cn-2}}{\gamma_{cn}}} L, \quad (2)$$

где γ_{ci} – удельная плотность скальной i -й породы, т/м³;

n – количество скальных пород;

L – длина откоса намыва от выпуска до центральной части прудка, а количество трубчатых дренажей определяется, как целая часть числа по формуле:

$$|n| = \frac{L_D}{L_{d_{10D}}}, \quad (3)$$

где L_D – длина дамбы, м;

Высота ступени H_1 укладки трубчатых дренажей определяется по формуле:

$$H_1 = \frac{H}{|n|}, \quad (4)$$

где H – высота дамбы, м,

Верхний трубчатый дренаж укладывается в тело дамбы на глубине равной расчетной величине ветровой волны в прудке, а нижний на расстоянии и высоте 1-1,5 м от борта и дна.

Высота заложения верхнего трубчатого дренажа в тело дамбы, оптимально на глубину, равную двум высотам волны, так как наиболее эффективное движение частиц происходит при переходе поступательной волны в волну перемещения, т. е. на глубинах равных $4h - 2h$, где $2h$ – высота волны.

Высота волны определяется из отношения:

$$2h = 0,0208V^{3/4}D^{1/3} \quad (5)$$

где $2h$ - высота волны, м;
 V – скорость ветра, м/с;
 D – длина участка волнообразования, м.

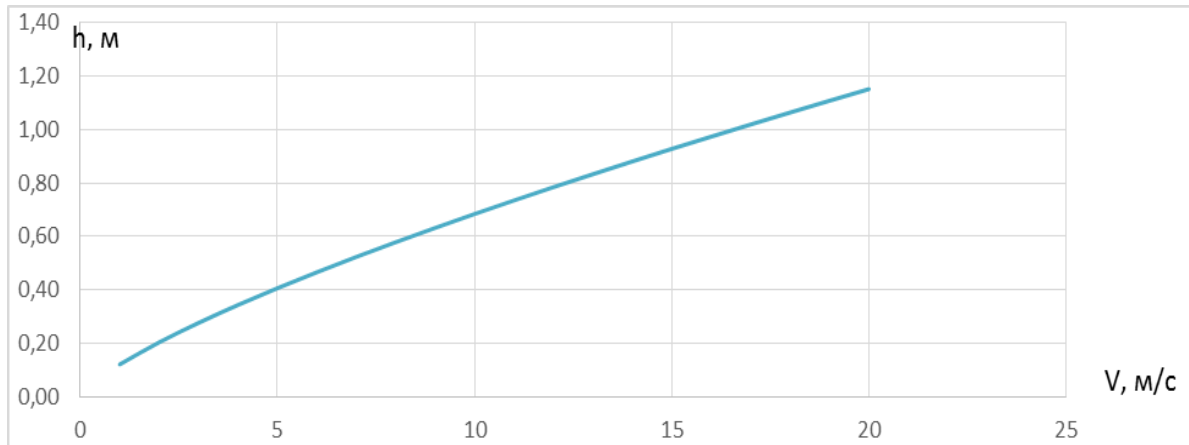


Рисунок 1 - Изменение высоты волны в зависимости от скорости ветра

Следовательно, на основании расчетов по приведенной методике, в зависимости от планируемого размера карт и ветровых нагрузок территории в течение сезона намыва, определяется оптимальный диапазон высот заложения верхнего трубчатого дренажа и объем слагающих пород тела дамбы.

При намыве пород через выпуск 13 пульповода 3 в гидроотвал 2 и заполнения карты 5, вода вместе со взвешенными частицами растекается по дну карты, где происходит осаждение взвешенных частиц, достигает дамбы 1, дренирует через ее тело и поступает в дренажные каналы 9 разреза. По мере увеличения площади гидроотвала взвешенные частицы забучивают дренажные каналы дамбы, повышая уровень воды пока он не достигнет нижнего трубчатого дренажа, через который вода сбрасывается по водосбору и поступает в пруд-отстойник.

Постепенно нижний трубчатый дренаж заиливается и циклы подъема воды и дренажа воды через дамбу повторяются до полного заполнения карты. Интенсивный сброс воды и ее низкий уровень, при заполнении карты, не создают динамического давления на дамбу и сохраняют ее устойчивость.

Техническим результатом предлагаемого решения является ускорение осаждения взвешенных частиц, за счет дренажа воды из гидроотвала, повышение устойчивости дамбы за счет снижения динамического давления и дренажа воды через тело дамбы, перепуска ее через трубчатые дренажи, а также последовательного распределенного сброса пульпы обратным ходом от наиболее удаленного участка к ближним участкам дамбы.

Библиографический список

1. Патент 2737300 РФ. Способ ускоренной механогидравлической рекультивации выработанного пространства открытых горных выработок / Гинебург А.П., Сенкус Вит.В., Болтрукевич Д.П., Новожилова О.С., Сенкус

Вал.В., Чаплыгин В.В., Сенкус Вас.В., Булаева А.М., Шестакова Н.Г., Волошин В.А., Матвеев А.В., Мосин О.Д. // Бюл. – 2020. - №33.

2. Матвеев А.В., Гинебург А.П., Сенкус Вал.В. Способ ускоренной механогидравлической рекультивации открытых горных выработок // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 19 – 21 мая 2020 г. Выпуск 24. Часть I. Технические науки / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет – Новокузнецк; Издательский центр СибГИУ, 2020. – С. 184 – 188

УДК 622.882

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДРЕНАЖА В ДАМБЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СПОСОБА МЕХАНОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Николаев А.С., Шеховцова Л.Ю., Кузнецова О.Г., Матвеев А.В.

Научный руководитель: канд. техн. наук, профессор Чаплыгин В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: chief.a.v@mail.ru*

Рассмотрена актуальность использования способа механогидравлической рекультивации выработанного пространства открытых горных выработок в существующих реалиях.

Ключевые слова: технологическая схема, рекультивация, гидромонитор, намыв пород, закладочная карта, пульповод, дамба, трубчатый дренаж, сброс воды.

Для моделирования процессов дренажа в дамбе используется расчетная схема, представленная на рисунке 1.

Приток воды Q к дренажному устройству описывается уравнением:

$$Q_d = \pi r k h \frac{dh}{dr}, \quad (1)$$

где r - радиус влияния дренирования, м;

k - коэффициент фильтрации (для среднезернистого материала $k=5-10$ м/сут),

h - мощность обводненных пород от основания дренажного устройства.

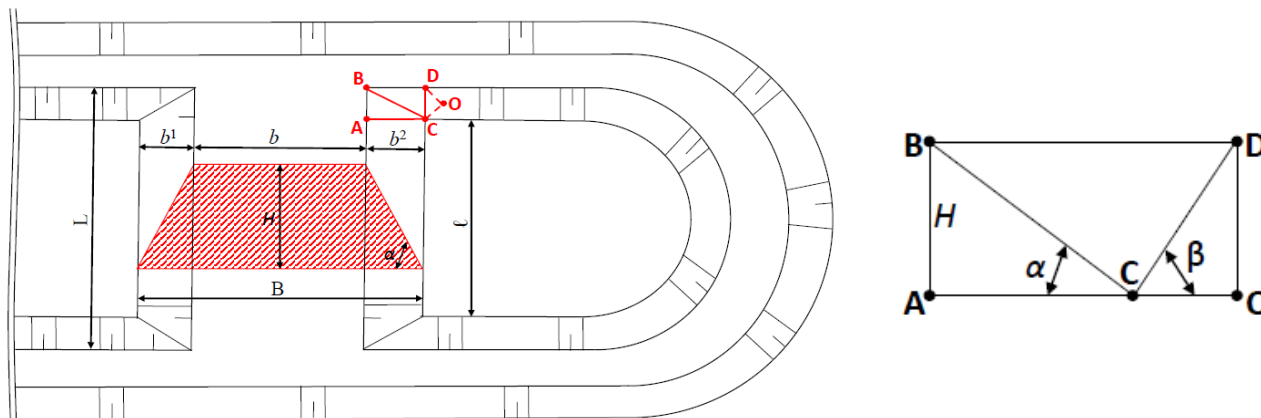
При установке в тело плотины ступенчато трубчатых дренажей их гидравлический расчет водоотводящих сечений производится по формуле:

$$Q_m = 0,39 C d^2 i^{0,5}, \quad (2)$$

где C – Коэффициент Шези;

d - диаметр трубы дренажа, м;
 i - уклон трубы дренажа.
 Значение коэффициента Шези:

$$C=64d^{0,17}. \quad (3)$$



AB – высота дамбы; AC – ширина откоса по основанию; b – ширина дамбы по верху; $b^1=b^2=\Delta b$ ширина откоса дамбы по основанию; α - угол откоса дамбы, $\alpha=32^\circ$; β – угол откоса борта разреза; CD – линия борта разреза; CO – линия борта разреза; BC – линия пересечения плоскости откоса дамбы и плоскости борта разреза; H - высота дамбы; l – длина дамбы по основанию, м; L – длина дамбы по верху

Рисунок 1 - Расчетная схема дренажной дамбы

Подставляя его в формулу (8) получим выражение

$$Q_m=24,96d^{2,17}i^{0,5}, \quad (4)$$

Пропускная способность Q_c системы «дренажная дамба – трубчатые дренажи» складывается из пропускной способности самой дамбы и трубчатых дренажей, заложенных в ее тело, которые, как правило, имеют один диаметр труб, поэтому уравнение будет иметь вид:

$$Q_c=Q_d+Q_m=\pi \cdot r \cdot h \frac{dh}{dr} + n \cdot 24,96 \cdot d^{2,17} \cdot i^{0,5}, \quad (5)$$

где n – число трубчатых дренажей в теле дамбы.

Для определения максимальной пропускной способности системы необходимо решить данное уравнение, принимая во внимание, что гидравлическое сечение дамбы имеет форму трапеции с основаниями l (нижнее), L (верхнее) и h (высотой заполнения), радиус влияния изменяется от половины длины нижнего основания $l/2$ до $L/2$ до половины длины верхнего основания, заполнение дамбы на полную глубину H .

Гидравлический расчет водоотводящих сечений при установке в тело плотины ступенчато трубчатых дренажей и расчетная диаграмма, характеризующая приток воды Q к дренажному устройству представлены ниже.

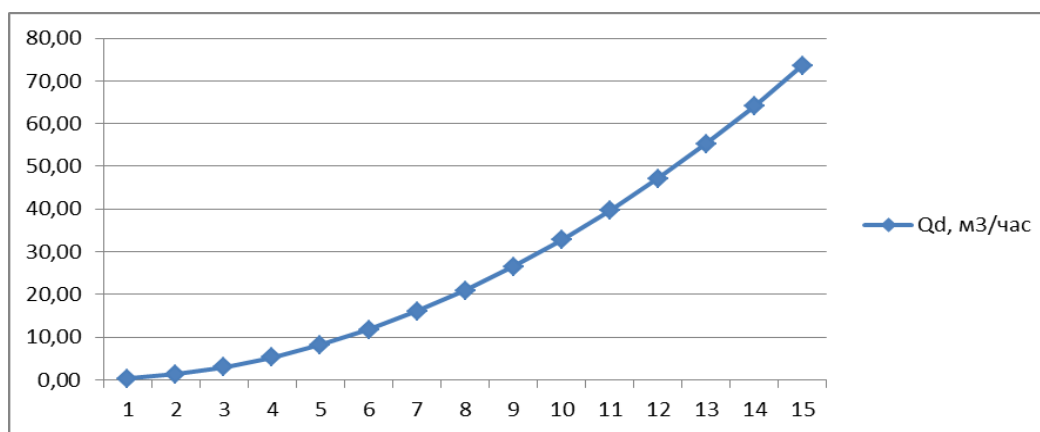


Рисунок 2 – Расчетная диаграмма, характеризующая приток воды Q к дренажному устройству (ось ординат – приток воды к дренажному устройству, $\text{м}^3/\text{час}$; ось абсцисс – высота установки дренажа в теле дамбы)

Таблица 1 – Гидравлический расчет водоотводящих сечений при установке в тело плотины ступенчато трубчатых дренажей

$Q_m, \text{м}^3/\text{сут}$	$Q_m, \text{м}^3/\text{час}$	$Q_m, \text{м}^3/\text{с}$	$d, \text{м}$	$i, \text{‰ (м/м)}$
518,4	21,6	0,006	0,05	0,03
1382,4	57,6	0,016	0,075	0,03
2505,6	104,4	0,029	0,1	0,03
4060,8	169,2	0,047	0,125	0,03
6048	252	0,07	0,15	0,03
11404,8	475,2	0,132	0,2	0,03
27388,8	1141,2	0,317	0,3	0,03
38275,2	1594,8	0,443	0,35	0,03
51148,8	2131,2	0,592	0,4	0,03
83030,4	3459,6	0,961	0,5	0,03
102038,4	4251,6	1,181	0,55	0,03
123292,8	5137,2	1,427	0,6	0,03
172281,6	7178,4	1,994	0,7	0,03

Расчетные данные таблицы показывают, что для обеспечения пропускной способности дренажа, например, на уровне $900 \text{ м}^3/\text{ч}$ (марка насоса Д800-5Т), следует на каждой ступени укладывать два трубчатых дренажа с внутренним диаметром 100 мм или один – 200 мм.

Следовательно, при известном объеме работ и производительности комплекса оборудования, используя вышеизложенную методику можно рационально подобрать оптимальные параметры технологии и снизить затраты на производство работ.

Для безаварийной работы агрегатов машин и сооружений, реализующих технологию механогидравлической рекультивации открытых горных выработок, необходимо соблюдать следующие условие: производительность каждого последующего звена в замкнутом последовательном цикле должна быть равной или большей предыдущего:

$$P_{\text{вод}} \leq P_{\text{под}} \leq P_{\text{пул}} \leq P_{\text{гт}} \leq P_{\text{дд}} \leq P_{\text{отс}} \leq P_{\text{вод}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (6)$$

где $P_{\text{вод}}$ – производительность водоснабжения;

$P_{\text{под}}$ – производительность подготовки вскрышных пород;

$P_{\text{пул}}$ – производительность пульпоформирования;

$P_{\text{гт}}$ – производительность напорного гидротранспорта;

$P_{\text{дд}}$ – производительность дренажной дамбы гидроотвала;

$P_{\text{отс}}$ – производительность отстойника (прудка);

$P_{\text{вод}}$ – производительность водоснабжения.

Следовательно, для сбалансированной работы технологических звеньев и процессов механогидравлической технологии рекультивации открытых горных выработок в замкнутом цикле водоснабжения необходимо соблюдать требование «Производительность каждого последующего технологического звена должна быть равной или больше предыдущего в замкнутом цикле водоснабжения».

Наиболее важные научные и практические результаты выполненных исследований заключаются в следующем.

1. Выбор параметров механогидравлической технологии должен производиться в итерационном режиме с применением локальных и общих критериев оптимизации.

2. Процесс дренажа воды из закладочных карт имеет параболическую зависимость дренажа вод от глубины заполнения карты, а угол намыва смеси и длина откоса намыва от выпуска до центральной части прудка при ускоренной механогидравлической рекультивации не оказывают значительного влияния на параметры сброса воды через тело дамбы.

3. Время заполнения закладочной карты и повышение эффективности технологии достигается путем интенсивного сброса воды при поддержании ее низкого уровня во время заполнения дренажных карт.

Библиографический список

1. Патент 2737300 РФ. Способ ускоренной механогидравлической рекультивации выработанного пространства открытых горных выработок / Гинеборг А.П., Сенкус Вит.В., Болтрукевич Д.П., Новожилова О.С., Сенкус Вал.В., Чаплыгин В.В., Сенкус Вас.В., Булаева А.М., Шестакова Н.Г., Волошин В.А., Матвеев А.В., Мосин О.Д. // Бюл. – 2020. - №33.

2. Матвеев А.В., Гинеборг А.П., Сенкус Вал.В. Способ ускоренной механогидравлической рекультивации открытых горных выработок // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 19 – 21 мая 2020 г. Выпуск 24. Часть I. Технические науки / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет – Новокузнецк; Издательский центр СибГИУ, 2020. – С. 184 – 188.

ПРОГНОЗ СИТОВОГО СОСТАВА ПОРОД ОТВАЛЬНОЙ СМЕСИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПОРАЗМЕРА ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Курдюков М.О., Хлызова Н.С., Овечкин В.В., Матвеев А.В.

Научный руководитель: канд. техн. наук, профессор Чаплыгин В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: chief.a.v@mail.ru*

Фракционный состав горной массы требует обоснования режимов напорного гидротранспорта, водоснабжения и осветления воды по разным методикам и влияет на выбор параметров технологии в целом.

Ключевые слова: горная масса, экскаваторно-автомобильный комплекс, производительность экскаватора, кривая распределения.

Для рекультивации открытых горных выработок вскрышные породы должны разделяться по крупности 10-100 мм для выполнения этапа технической рекультивации и по потенциальной полезности пород для биологической рекультивации.

Гранулометрический состав горной массы тела отвала горных пород на угледобывающем предприятии можно с большой достоверностью предположить на основе модели кривой распределения фракционного состава:

$$P(x) = 1,0 - e^{-\ln 2(x/x_{50})^n}, \quad (2)$$

для которого средний размер раздробленных фрагментов находится по формуле:

$$x_{50} = 1,063 \cdot A \cdot Q_e^{1/6} / q^{0,8}. \quad (3)$$

где: A – коэффициент, учитывающий дробимость пород массива;

Q_e – средний вес заряда в скважине, пересчитанный на эталонное ВВ;

q – удельный расход эталонного ВВ.

При известном типоразмере применяемого выемочного горного оборудования на конкретном предприятии можно от обратного прогнозировать ситовый состав пород, складированных на отвалах, отталкиваясь от статистической информации о производительности вскрышных агрегатов.

Для примера можно рассмотреть работу оборудования в крупнейшей компании Кузбасса, которая ежегодно добывает наиболее эффективным и безопасным открытым способом свыше 45 млн. тонн угля, ОАО «УК «Кузбассразрезуголь».

В настоящее время в её состав входят 6 угольных разрезов – «Кедровский», «Моховский», «Бачатский», «Краснобродский», «Талдинский» и «Калтанский», которые оснащены современным высокопроизводительным горнотранспортным оборудованием. Применяются механические лопаты с

ковшом 20 м³ и более. Наиболее мощным из них являются 56-ти кубовый R&H-4100, которые работают на Талдинском разрезе с 2009 г. и на Бачатском с 2011 г., которые осуществляют погрузку взорванной вскрышной породы в автосамосвалы – БелАЗы: 75131, 75302 (75306) и 75600 грузоподъемностью соответственно 130, 220 и 320 тонн.

Например, на Бачатском угольном разрезе экскаватор H&P-2800 с емкостью ковша 33 м³, обеспечивает выемку горной массы в объеме 800 тыс. м³.

Анализ работы экскаваторно-автомобильного комплекса показывает, что основными параметрами характеризующие ее являются: коэффициент экскавации (Кэ); время цикла (t_ц); производительность экскаватора (E), которая зависит от вместимости ковша экскаватора и величины средневзвешенного размера кусков взорванных пород (d_{св}).

Исследованиями установлены эмпирические зависимости при работе экскаваторов с вместимостью ковша 5-10 м³, которые имеют вид:

$$K_э = \frac{K_H}{K_P} = \frac{1,18 \cdot e^{-\frac{6,5 \cdot d_{св}^2}{E^{1,2}}}}{\frac{d_{св}^2}{0,75 \cdot \sqrt{E^2}} \cdot e^{\frac{1 - \frac{d_{св}^2}{0,56 \cdot \sqrt{E^2}}}{1,35}}}; \quad (4)$$

$$t_{ц} = \frac{67 \cdot d_{св}^2}{E} + \frac{E}{0,11 \cdot E + 0,6} + \sqrt[3]{\frac{(35 \cdot E + 0,42 \cdot E^2)^{5/3} \cdot \beta_{п}^2}{E}} + t_p; \quad (5)$$

$$Q_{экс} = \frac{3600 \cdot E \cdot 1,18 \cdot e^{-\frac{6,5 \cdot d_{св}^2}{E^{1,2}}}}{\left(\frac{67 \cdot d_{св}^2}{E} + \frac{E}{0,11 \cdot E + 0,6} + \sqrt[3]{\frac{(35 \cdot E + 0,42 \cdot E^2)^{5/3} \cdot \beta_{п}^2}{E}} + 3 \right) \cdot \left(\frac{d_{св}^2}{0,75 \cdot \sqrt{E^2}} \cdot e^{\frac{1 - \frac{d_{св}^2}{0,56 \cdot \sqrt{E^2}}}{1,35}} \right)}; \quad (6)$$

Графические зависимости изменения сопоставляемых величин от средневзвешенного размера кусков взорванных пород для экскаватора с вместимостью ковша экскаватора 41,3 м³, рассчитанные по формулам представлены на рисунке 1.

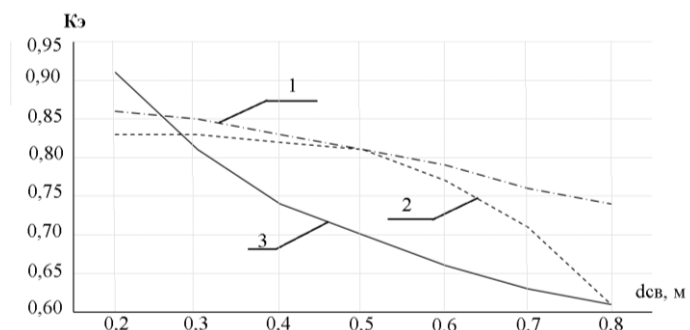


Рисунок 1 - Графические зависимости изменения коэффициента экскавации от средневзвешенного размера кусков взорванных пород для экскаватора с вместимостью ковша экскаватора 41,3 м³:
1 - формула Репина, 2 – формула Сысоева, 3 – формула Исайченкова

Анализ данных графиков показывает, что 80 % кусков пород на отвале имеют средний диаметр от 0,4 до 0,7 м, а зависимости изменения величины K_{Σ} от средневзвешенного размера кусков взорванных пород, должны уточняться по результатам дополнительных экспериментальных исследований для более мощных экскаваторов Р&Н-2800, ЭКГ-32Р, Р&Н-4100 и др.

Следовательно, в соответствии с кривой распределения фракционного состава определяемым соотношением Розина-Раммлера средний размер кусков, слагающих отвалы разрезов, можно с высокой степенью достоверности определить в зависимости от конкретного типа применяемого оборудования и его фактической производительности.

Исследования подтверждают достоверность данных, выбранного теоретического подхода для определения ситового состава пород для последующего выбора дробильных агрегатов при подготовке вскрышных пород для гидротранспорта.

Вышеизложенное является доказательством следующей формулировки: при известном типоразмере применяемого выемочного горного оборудования на конкретном предприятии можно от обратного прогнозировать ситовый состав пород, складированных на отвалах, отталкиваясь от статистической информации о производительности вскрышных агрегатов, следовательно, в соответствии с кривой распределения фракционного состава определяемым соотношением Розина-Раммлера средний размер кусков, слагающих отвалы разрезов, можно с высокой степенью достоверности определить в зависимости от конкретного типа применяемого оборудования и его фактической производительности.

Библиографический список

1. Матвеев А.В., Гинебург А.П., Сенкус Вал.В. Рекультивация открытых горных выработок угольных месторождений // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 19 – 21 мая 2020 г. Выпуск 24. Часть I. Технические науки / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет – Новокузнецк; Издательский центр СибГИУ, 2020. – С. 188 – 194.

2. Репин А.А., Матвеев А.В., Лобанова О.О. Анализ влияния кусковатости взорванной горной массы на производительность экскаватора // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 19 – 21 мая 2020 г. Выпуск 24. Часть VI. Технические науки / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет – Новокузнецк; Издательский центр СибГИУ, 2020. – С. 199 – 203.

3. Исайченков А.Б. Оптимизация параметров технологии разработки полускальных вскрышных пород экскаватором Висугус 495HD на разрезе «Тугнуйском» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-

технический журнал) Издательство: Горная книга (Москва) ISSN: 0236-1493. - 2015. - №6. - С. 211-215.

4. Ташкинов А.С., Сысоев А.А., Ташкинов И.А. Сравнительная оценка производительности карьерных экскаваторов при разработке взорванных пород.- Кемерово, вестник КузГТУ №4, 2009. С. 17- 20.

УДК 622.882 : 316

СОЦИАЛЬНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Лобанова О.О., Овечкин В.В., Матвеев А.В.

Научный руководитель: канд. техн. наук, профессор Чаплыгин В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: chief.a.v@mail.ru*

Опыт работы с представителями недропользователей показывает, что технологи часто не имеют возможности на очные встречи с разработчиками технических раций в области рационального недропользования и рекультивации земель.

Ключевые слова: открытые горные работы, рекультивация, деградация почв, социальный проект.

В соответствии с ГОСТ 17.5.3.04-83, рекультивация земель является составной частью технологических процессов, связанных с нарушением земель. Согласно Земельному кодексу Российской Федерации, целью охраны земель является обеспечение улучшения и восстановления подвергшихся вредным последствиям земель. Согласно требованиям «Основных положений о рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы», ФЗ № 7 «Об охране окружающей среды», и ГОСТ 17.5.3.04-83, предприятие обязано восстановить нарушенные земли. Рекультивация земель – комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды в соответствии с интересами общества.

По данным Доклада о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2020 году (Администрация правительства Кузбасса, Министерство природных ресурсов и экологии Кузбасса, Кемерово, 2021), Южно-Сибирским межрегиональным управлением Федеральной службы по надзору в сфере природопользования в 2020 году, к административной ответственности по ч. 1 ст. 8.7 КоАП РФ за невыполнение или несвоевременное выполнение обязанностей по рекультивации земель при разработке месторождений полезных ископаемых, включая общераспространенные полезные ископаемые, привлечены АО «Разрез Томусинский», ООО «Шахта «Есаульская», ООО «Энергоуголь», ООО «Ресурс», ООО

«Энергия-НК», ООО «ММК-Уголь», ООО «Шахта им. С.Д. Тихова», ООО «Воскресенка», ООО «Диабаз», ООО «Артель старателей «Аргут», ООО «Артель Восточная», ООО «Сибирская золоторудная компания», ООО «Кузбассзолото», ООО «Базас», ООО «Сибгравий». Общая сумма наложенных штрафов составила 6 270 тыс. руб.

Так же в течении 2020 год выявлено 16 фактов безлицензионного пользования недрами. Вынесено 15 постановлений, 8 из которых на должностное лицо, 2 - на физическое лицо. Виновные лица привлечены к административной ответственности на общую сумму 4 273 тыс. руб.

По состоянию на 01.01.2021 на территории Кемеровской области – Кузбасса действует 123 лицензии на пользование недрами с целью добычи общераспространенных полезных ископаемых (минерального сырья, применяемого, преимущественно, в строительных целях): кирпичных глин, строительного камня, песка, песчано-гравийных смесей. За 2020 год выдано 90 новых лицензий, переоформлено 8 лицензий на пользование недрами, выдано 22 дополнения к лицензиям на пользование недрами. Фактически в настоящее время в Кузбассе 160 действующих и 106 строящихся шахт и разрезов. На балансе предприятий находится 21 117,467 млн т каменного угля, из них добыто в 2019 году 248,7 млн т угля. Крупнейшими предприятиями по добыче каменного угля в Кемеровской области – Кузбассе являются: АО УК «Кузбассразрезуголь» (с добычей 39,1 млн т/год), АО «СУЭК-КУЗБАСС» (с добычей 25,1 млн т/год), ПАО «Кузбасская Топливная Компания» (с добычей 13,9 млн т/год), ООО «Разрез Кийзасский» (с добычей 8,9 млн т/год), ОАО «Черниговец» (с добычей 7,1 млн т/год).

Необходимо особо отметить, что в указанном документе 2020 года, отсутствуют как таковые следующие разделы, имеющиеся во всех предыдущих докладах вплоть до 2019 года: Почвы и земельные ресурсы, Состояние недр и использование полезных ископаемых, содержащих информацию об объемах нарушенных и рекультивированных земель.

По данным Доклада о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2019 году (Администрация правительства Кузбасса, Министерство природных ресурсов и экологии Кузбасса, Кемерово, 2020) за 2019 год общая площадь данной категории земель промышленного назначения увеличилась на 5,2 тыс. га и составила 173,6 тыс. га. Увеличение произошло за счет 160 переводов: 3,6 тыс. га из земель сельскохозяйственного назначения, 1,4 тыс. га из земель населенных пунктов и 0,2 тыс. га из земель запаса.

Большой негативный вклад в процессы деградации и уничтожения почвенного покрова на территории Кемеровской области – Кузбасса вносят горнодобывающие предприятия, особенно при открытой добыче угля, с образованием в зоне действия объектов техногенных ландшафтов. Согласно данным, представленным Южно-Сибирским межрегиональным управлением Росприроднадзора, площадь нарушенных земель по состоянию на 01.01.2020 составила 114,726 тыс. га, из них нарушено при разработке месторождений

полезных ископаемых – 108,074 тыс. га, при проведении строительных работ – 3,694 тыс. га, при размещении промышленных и твердых бытовых отходов – 2,579 тыс. га. Из общей площади нарушенных земель отработано по состоянию на 31.12.2019 – 9,662 тыс. га. За 2019 год нарушено земель 5,443 тыс. га (при разработке месторождений полезных ископаемых – 4,863 тыс. га, при строительных работах – 0,414 тыс. га), рекультивировано 0,711 тыс. га, что составило 13,1 % от площади нарушенных земель за отчетный год. Из общей площади нарушенных земель отработано 3,804 тыс. га (69,9 %).

Вместе с тем, опыт проведенных исследований проблем недропользователей в области рекультивации показывает, что большинство испытывают трудности:

- на этапе проектной деятельности;
- в период прохождения этапов обработки месторождения;
- в период обострения промышленно-хозяйственных отношений;
- социально – экономических проблем на предприятии.

Кроме того, у собственников предприятий, а порой и у привлеченных специалистов, часто не хватает опыта для организации этапов процессов по рекультивации нарушенных земель. При этом ряд из них даже не замечают своего негативного влияния на жизнедеятельность предприятия. А некоторые не имеют возможности получить квалифицированную помощь из-за недостаточной обеспеченности отрасли специалистами в данной области.

Анализ проведенных работ в филиале ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Галдинский угольный разрез» «Ерунаковское поле», имеющего достаточно большой опыт по рекультивации показывает, что вовремя проведенная работа по восстановлению нарушенных земель и проведенный комплекс технологических работ весьма способствует предотвращению накладыванию административных штрафов, так же возможной приостановки деятельности предприятия или отзыва лицензии.

Опыт работы с представителями недропользователей показывает, что технологи часто не имеют возможности на очные встречи с разработчиками технических рацений в области рационального недропользования и рекультивации земель. Ситуация усугубилась и общей ситуацией в стране и мире, связанная с эпидемией коронавируса COVID-2019 и снижением спроса на продукцию угледобывающих предприятий, соответственно произошла приостановка деятельности многих производств: с одной стороны, в связи со снижением спроса обострились внутренние экономические проблемы, а, с другой стороны, в этот период полностью отсутствовала возможность получить специалистами предприятий результаты исследований и технических разработок в офлайн формате. Таким образом, проектировщики и специалисты горнодобывающих предприятий остаются один на один со своими проблемами, что приводит к росту напряженности в период проведения проверок Управлением Ростехнадзора, которое выливается в агрессию, жестокость и насилие, в первую очередь, по отношению к линейному ИТР предприятия и ответственным специалистам со стороны руководящего состава.

Но такая ситуация не наблюдается на предприятиях, на которых сформированы традиции рационального недропользования, целью которых является не создание какого-либо продукта, а социально значимый процесс по восстановлению техногенного ландшафта и возврату нарушенных ранее территорий в хозяйственный оборот.

На территории проведения рекультивации и вблизи расположенных территорий снижается негативное влияние горных работ, снижается пылеобразование, эрозия почв, восстанавливается водный баланс на территориях. Подготовленные территории возможно эксплуатировать на благо и для целей общества, то есть получить в итоге социально значимый результат.

Согласно энциклопедии [22], социально значимый проект – один из способов развития гражданского общества. Он подразумевает участие общества в разработке и принятии решений. Проекты направлены на изменения или преодоление социальных решений представителей власти или частных лиц, которые затрудняют жизнь или доступ к услугам определенным участникам сообщества.

Социальную значимость технологии рекультивации открытых горных работ можно сформулировать следующими тезисами:

- технология рассчитана на ясный и достижимый технический результат;
- важным фактором успешного социального проекта считается возможность существования проекта после окончания периода его финансирования;
- возможность использования идеи или самого продукта в условиях других географических зон или социальных групп;
- проект должен быть открыт как для новых участников, так и для тех, кто хотел бы запустить аналогичный продукт самостоятельно.

Именно поэтому необходимо дополнительно организовать работу, направленную на формирование и развитие технико-социальных компетенций на предприятиях в специалистах занятых в горной отрасли способности к развитию конструкторского потенциала и своевременной организации работ по восстановлению нарушенных земель горными работами как средства профилактики от приостановки деятельности предприятия, отзыва лицензий, а также оплаты штрафов, то есть затрат несоизмеримых со стоимостью работ по рекультивации.

Библиографический список

1. ГОСТ 17.5.3.05-84. Охрана природы. Рекультивация земель. Общие требования к землеванию.
2. ГОСТ 17.4.3.02-85. Охрана природы. Почвы. Требования к охране плодородного слоя почвы при производстве земляных работ.
3. Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды.
4. Приказ Минприроды РФ N 525, Роскомзема N 67 от 22.12.1995 "Об

утверждении Основных положений о рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы" (Зарегистрировано в Минюсте РФ 29.07.1996 N 1136)

5. Методические указания по проектированию рекультивации нарушенных земель на действующих и проектируемых предприятиях угольной промышленности.

6. Стандарт СЭВ 4471-84. Охрана природы. Земли. Требования к охране плодородного слоя почвы при производстве земляных работ.

7. Постановление Правительства РФ от 10.07.2018 N 800 (ред. от 07.03.2019) «О проведении рекультивации и консервации земель» (вместе с «Правилами проведения рекультивации и консервации земель»).

УДК 622.882

РАСЧЕТ ПРУДКА-ОТСТОЙНИКА ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Лобанова О.О., Боровцов А.С., Матвеев А.В.

Научный руководитель: канд. техн. наук, профессор Чаплыгин В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: chief.a.v@mail.ru*

При намыве пород значительная часть их осаждается в прудке гидроотвала. Роль прудка-отстойника для различных условий и разного класса грунтов, может быть неодинаковой.

Ключевые слова: намыв пород, обратное водоснабжение, осаждаемость частиц грунта, гидроотвал, пульпа.

Намыв глинистых грунтов при обратном водоснабжении практически невозможен без водного бассейна определенных размеров. Глинистые частицы лучше осаждаются в водоеме, чем при надводном намыве в условиях открытых потоков. Исследования в натуральных условиях показали, что значительное увеличение длины пути надводного намыва не приводит к полному осаждению на нем глинистых частиц.

Осаждаемости грунтов в прудке гидроотвала имеет много общих элементов с процессами, протекающими в промышленных отстойниках, которые изучены достаточно хорошо.

Расчеты осаждаемости частиц производят для: определения осаждения наносов перед гидротехническими сооружениями, подготовки воды для промышленного и городского водоснабжения, постовых хозяйств обогатительных фабрик и т. д.

При расчете отстойников гидротехнических сооружений и водоснабжения, задача заключается в определении типа и размеров отстойника, удовлетворяющего заданным условиям. Исходными данными при расчете слу-

жат расход воды, количество и состав содержащейся в ней взвеси, и нормы ее в осветленной в воде. Задача может состоять в определении осаждающей способности данного отстойника, т.е. в подсчете концентрации и состава взвеси в осветленной воде.

Таким образом, если при расчете отстойников гидротехнических сооружений цели, задачи и методы расчета достаточно ясны и разработаны, то при расчете гидроотвалов постановка вопроса часто вызывает затруднения при проектировании.

Пульпа, освобожденная на пляже от крупных фракций, вливается в прудок в виде сосредоточенного и рассредоточенного потока. Чтобы знать, как распределяется и осаждается взвесь и прудке, необходимо определить характер несущих потоков, и их параметры. Сложным является влияние волновых воздействий на процессы осаждения и их учет необходимо производить для крупных гидроотвалов.

При расчете осаждения, т. е. при определении загрязненности осветленной воды для данного отстойника или при определении параметров прудка отстойника, исходя из заданных норм, для условий гидроотвалов могут быть рекомендованы приближенный методы, так как условия водоосветления не являются постоянными, и исходные данные для расчетов изменяются в широких пределах. Характер протекающих в процессе намыва и осаждения явлений наиболее близко отражают статистические методы расчета, которые и дают необходимую точность.

Загрязненность оборотной воды зависит от большого числа факторов, среди которых одним из основных является объем прудка.

При расчетах по осветлению воды находят численные зависимости между объемом (площадью) прудка и величиной загрязнения оборотной воды. Расчеты осветления воды имеют практический смысл, если известны нормы осветления, т. е. весовое содержание и состав твердых частиц в единице объема оборотной воды. Зная норму осветления, т. е. допустимую загрязненность оборотной воды, можно определить минимально необходимую емкость (площадь) прудка и отстойного бассейна. Вопрос о нормах осветления воды при ведении гидровскрышных работ слабо изучен.

Нормы осветления можно установить исходя из двух критериев: загрязненность оборотной воды приводит к непроизводительным затратам электроэнергии. Находящиеся в оборотной воде грунтовые частицы могут вызвать износ оборудования.

Наблюдениями на различных гидроотвалах установлено, что содержание грунтовых частиц в оборотной воде изменяется от 0 до 5 г/л, при очень неблагоприятных условиях до 20 и совсем редко до 30 г/л. Загрязненность, достигающая 20-30 г/л и более, обычно связана с грубыми нарушениями технологии работ. При загрязненности оборотной воды 30 г/л плотность воды возрастает не более чем до $1,02 \text{ г/см}^3$, а расход электроэнергии на водоснабжение увеличится на 2 % по сравнению с чистой водой. Из опыта работы гидровскрышных комплексов известно, что затраты на водоснабжение

максимально составляют 30-36 % от затрат на разработку 1 м³ вскрыши. При этом затраты электроэнергии составляют 22-4.0 % затрат на водоснабжение. Если загрязненность воды составляет 30 г/л (Т:Ж по весу 1:33), то затраты на гидровскрышу 1 м³ увеличиваются и составляют 0,2 % от общих затрат.

Однако такое содержание взвеси и оборотной воде наблюдается при очень сильных ветрах или, когда поток пульпы вливается в прудок вблизи водозабора. Эти периоды занимают 5-10 % времени работы насосов. В остальное время к насосам поступает чистая вода или с содержанием грунтовых частиц 0,1-1 г/л.

Следовательно, исходя из условий увеличения непроизводительных затрат электроэнергии, можно допустить загрязненность оборотной воды до 30 г/л, имея в виду, что при этом значительно сокращается объем прудка по сравнению с существующими нормами 10-15 суточного запаса, а указанная загрязненность, как правило, остается в течение непродолжительного периода времени работы насосов.

Гидроабразивный износ - процесс очень сложный. Изучение было начато и связи с выходом из строя гидротурбин и снижением их КПД. В данном случае необходимо установить зависимость износа от концентрации наносов, фракционного и минералогического состава, определяющих их твердость, и других факторов, связанных с конструкцией турбин, технологией и режимом их работы.

Концентрации наносов, поступающих в турбину, изменяются и в широких пределах, однако они состоят преимущественно из песчаных частиц.

Имеются различные толкования физической сущности процесса износа.

Экспериментальные зависимости между величиной износа, который выражается обычно в уменьшении массы металла, фракционным составом и концентрацией взвеси для различных условий имеют различный характер.

В качестве примера приводятся данные таблице 2.10, где указана мутность, опасная в отношении износа.

Вопрос о влиянии мутности оборотной воды гидроотвалов на износ насосов, труб гидромониторов изучен значительно слабее. Имеющиеся по этому вопросу работы учитывают мутность сугубо ориентировочно.

При обследовании разрезов россыпей на Урале установлено, что насосы, подающие воду к гидромониторам, содержащую 0,1-60 г/л илоглинистых частиц изнашиваются незначительно. При изучении фракционного состава взвеси на различных гидроотвалах нами установлено, что в насосы часто попадают частицы, размером менее 0,05 мм.

Пример определения фракционного состава взвеси, поступающей в насосы при сильном волнении и намыве, вблизи насосной станции показан в таблице 1.

При этом концентрация взвесей изменялась в пределах от 0 до 5 г/л, а объем прудка не превышал 70-100 тыс. м³, что составляло не более 1-2 суточного запаса.

Взвеси с указанной концентрацией и фракционным составом не оказы-

вали абразивного воздействия на лопатки насоса. Этот результат наших наблюдений совпадает с данными таблицы 2, где при содержании в наносах 4,3 % частиц крупностью более 0,25 мм опасной концентрацией считается 6,8 г/л. При этом следует учесть, что остальные 95,7 % взвеси крупностью менее 0,25 мм состоят из глинистых и пылевых частиц, а также из мелко песчаной фракции 0,05–0,25 мм.

Таблица 1 - Концентрации и фракционный состав абразивного воздействия на лопатки насоса

Среднее содержание в наносах частиц крупностью > 0,25 мм, %	Опасная мутность, г/л	Среднее содержание в наносах частиц крупностью > 0,25 мм, %	Опасная мутность, г/л
4,3	6,8	20,0	1,06
27,3	4,85	18,0	2,6
25,4	0,90	23,6	2,82
23,0	0,90	48,3	1,06

Таблица 2- Фракционный состав взвеси

Номер пробы	Фракция		Плотность частиц грунта взвеси, г/см ²
	пылеватая, 0,05 – 0,005 мм	глинистая, менее 0,005 мм	
1	71,4	27,6	2,565
2	72,63	27,37	2,575
3	73,09	26,91	2,570
4	72,63	27,37	2,54

Исходя из этого в первом приближении можно заключить, что опасная в отношении износа лопаток насоса и трубопроводов мутность оборотной воды, содержащая взвесь из пылеватых и глинистых частиц, составляет более 5 г/л.

Мутность несущего потока в прудке изменяется по его длине. Приближенное определение мутности вдоль потока в прудке должно основываться на использовании средних значений его (глубина, длина, ширина, площадь поперечного сечения) и средних величин гидравлических элементов транзитного потока.

Распределение мутности в прудке вдоль потока, учитывая наиболее вероятные условия осаждения и в том числе наиболее частое направление потока, можно определить по формуле:

$$S_{\text{кон}} = S_{\text{нач}} e^{\frac{B_n U_L}{Q}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{кон}}$ - средняя мутность у водозабора, кг/м³;

$S_{\text{нач}}$ - средняя мутность потока, вливающегося в прудок;

e - основание натурального логарифма;

B_n - средняя ширина активной зоны прудка, м;

U - средняя гидравлическая крупность транспортируемых частиц, м/с;

Q - транзитный расход воды, м³;

L - длина прудка (путь несущего потока в прудке), м.

Приведенную формулу можно использовать для расчета мутности частной фракции, а также для расчета длины прудка, когда остальные элементы заданы.

Общее количество грунта P_c , сброшенного с гидроотвала с оборотной водой:

$$P_c = VS_{\text{нач}} e^{-\frac{B_n U}{q} L}, \quad (2)$$

где V - объем воды, сброшенной с гидроотвала за период времени T , м³.

Для расчета вторичного отстойника кроме конечной мутности осветленной воды необходимо еще знать скорость его заиления, следовательно, в этом случае должна учитываться глубина отстойника.

Расчет рекомендуется производить по формуле:

$$P_o^1 = 1 - (1 - W^1) e^{\frac{-\varphi W^1}{1 - W^1}}, \quad (3)$$

где $P_o^1 = P_o/P$ - относительная аккумулирующая способность отстойника, т.е. отношение массы грунтовых частиц, осажденных в отстойнике, к массе частиц, поступающих за этот же период в отстойник (обычно за год);

$W^1 = W/V$ - относительная емкость отстойника;

$W = BHL$ - объем отстойника, т. е. произведение его ширины B , глубины H и длины L , м³;

V - объем воды, поступающей в отстойник за расчетный период, м³;

$$\varphi = \frac{UT}{H}, \quad (4)$$

где U - средняя гидравлическая крупность частиц, поступающих в отстойник, м/с;

T - продолжительность расчетного периода, с.

По последнему уравнению построен график (рисунок 1), который позволяет определять величину заиления отстойников заданной емкости в зависимости от различных значений его глубины и средней гидравлической крупности частиц несущих потоков при разных сроках работы отстойника, что задается параметром φ .

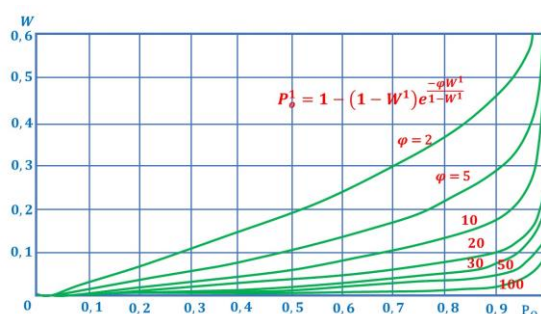


Рисунок 1 - График для расчета заиления отстойника и его осаждающей способности

Средняя величина мутности оборотной воды, поступающей из отстойника в забой, определяется отношением $(P-P_0)/V$.

Расчет величины заиления отстойника необходимо вести ежегодно. Годовое уменьшение объема отстойника определяется по количеству осажденного грунта P_0 и по средней плотности скелета отложений.

По приведенным формулам, можно рассчитать необходимые размеры вторичного отстойника при заданных нормах осветления воды или подсчитать мутность оборотной воды для заданного отстойника.

Пример расчета осаждающей способности отстойника. Исходные данные: $V = 16 \times 10^6 \text{ м}^3$; $U_{\text{нач}} = 0,025 \text{ т/м}^3$; $B_{\text{п}} = 200 \text{ м}$; $U = 0,147 \times 10^3 \text{ м/с}$, что соответствует гидравлической крупности мелкопылеватой фракции; $T = 200 \text{ дней} = 17,28 \times 10^6 \text{ с}$; $L = 1000 \text{ м}$.

Для этих условий по формуле (2.33) $P_c = 0,635 \times 10^8 \text{ т}$, т. е. практически все грунтовые частицы осаждаются в прудке, и из него вытекает чистая вода.

Если в указанном примере гидравлическую крупность принять равной $0,147 \times 10^4 \text{ м/с}$, что соответствует крупности глинистой фракции, то $P = 1,67 \times 10^4 \text{ т}$, т. е. около 4,2 % (по массе), поступающего в прудок грунта, сбрасывается за его пределы.

Пример расчета скорости заиления отстойника при известной его глубине. Для расчета относительной аккумулирующей способности вторичного отстойника возьмем данные, аналогичные предыдущим.

Исходные данные:

$B = 200 \text{ м}$; $L = 1000 \text{ м}$; $H = 2 \text{ м}$; $V = 16106 \text{ м}^3$; $T = 200 \text{ дней} = 17,28 \times 10^6 \text{ с}$; $U = 0,147 \times 10^3$ и $0,147 \times 10^4 \text{ м/с}$. Для этих условий $W = 0,025$; $ср = 1270$ и 127 .

По графику (рисунок 1) или по формуле (4) определяем, что для мелкопылеватых частиц $U = (0,147 \times 10^3) P_0$ практически равно единице, т. е. весь поступающий грунт осаждается в отстойнике. Для другого случая $P_0 = 0,975$. Так, для предыдущего примера при поступлении в отстойник 4105 т грунта в год загрязненность воды, поступающей из отстойника, составит около 0,6 г/л, что приемлемо для технического водоснабжения.

Библиографический список

1. Патент 2737300 РФ. Способ ускоренной механогидравлической рекультивации выработанного пространства открытых горных выработок / Гинеборг А.П., Сенкус Вит.В., Болтрукевич Д.П., Новожилова О.С., Сенкус Вал.В., Чаплыгин В.В., Сенкус Вас.В., Булаева А.М., Шестакова Н.Г., Волошин В.А., Матвеев А.В., Мосин О.Д. // Бюл. – 2020. - №33.

2. Теоретическое и экспериментальное исследование энергосберегающего способа гидронамыва песка. 2010, Чигрин, Максим Иванович.

3. Разработка россыпных месторождений учебник для вузов 2007, Лешков В.Г. Лешков В. Г.

ВЫБОР СХЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ТЕХНОЛОГИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Лобанова О.О., Миков А.К., Курдюков М.О., Матвеев А.В.

Научный руководитель: канд. техн. наук, профессор Чаплыгин В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: chief.a.v@mail.ru*

На открытых горных работах подача воды к гидроустановкам осуществляется тремя способами: самотечным, возможным при соответствующем рельефе местности, напорным с использованием насосов и комбинированным, когда самотечный способ не обеспечивает необходимый напор.

Ключевые слова: обратное водоснабжение, рабочий напор, гидротвал, гидравлическое сопротивление.

Источниками водоснабжения служат реки, озера, отстойники, пруды, дождевые и паводковые стоки, артезианские скважины. Источник удовлетворяет потребности гидроустановок в воде, если его годовой дебит больше или равен расходу воды, потребному для их работы.

Для обеспечения рабочего напора на гидроустановках при напорном способе подачи воды напор насосов определяется по формуле:

$$H_n = \pm H_r + H_{нз} + H_{зв} + h_г + h_l + h_m, \quad (1)$$

где H_r - геометрическая высота подъема воды, равная разности отметок осей насоса и гидроустановки, м;

$H_{нз}$ - необходимый напор на насадке гидроустановки, м;

$H_{зв}$ - геометрическая высота всасывания, равная разности отметок оси насоса и уровня воды в водоисточнике, м;

$h_г$ - потери напора во всасывающей трубе, м; h_l - потери напора на трение по длине водовода, м;

$h_m = 0,1h_l$ - местные потери напора на трение, м;

$$h_l = L_г \cdot i_o, \quad (2)$$

где $L_г$ - длина водовода, м;

i_o - потери напора на трение на 1 м длины водовода, м;

$$i_o = \lambda \cdot \frac{V_B^2}{2} \cdot g \cdot D_г \quad (3)$$

где λ - коэффициент гидравлического сопротивления при движении воды по водоводу;

$V_B = 1,5-2,5$ - скорость движения воды в водоводе, м/с;

g - ускорение свободного падения, м/с²;

$D_г$ - диаметр водовода, м.

Значение λ_o принимается в зависимости от диаметра водовода (таблица 1).

Таблица 1 – Значение лобового сопротивления в зависимости от диаметра водовода

Диаметр трубопровода, мм	150	200	250	300	350	400
Коэффициент λ_o	0,0185	0,0180	0,0175	0,0165	0,0160	0,0155
Диаметр трубопровода, мм	450	500	600	700	800	
Коэффициент λ_o	0,0155	0,0150	0,0145	0,0140	0,010	

Тип насосов и их число определяются в зависимости от производительности и напора гидроустановок.

Производительность ($\text{м}^3/\text{ч}$) насосной станции определяется по формуле:

$$Q_{\text{нс}} = \frac{A \cdot q_{\text{в}}}{T_{\text{н}} \cdot k_{\text{в}}}, \quad (4)$$

где A - годовой объем работ по породе, м^3 , $q_{\text{в}}$ - удельный расход воды, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

$T_{\text{н}}$ - годовой фонд рабочего времени насосной станции, ч;

$k_{\text{в}}$ - коэффициент использования рабочего времени;

$$T_{\text{н}} = N_{\text{д}} \cdot n_{\text{см}} \cdot t_{\text{с}}, \quad (5)$$

где $N_{\text{д}}$ - число рабочих дней в течение года (сезона);

$n_{\text{см}}$ - число рабочих смен в сутки; $t_{\text{с}}$ - продолжительность смены, ч.

Число рабочих насосов на насосной станции определяется по формуле:

$$M_{\text{н}} = Q_{\text{нс}} / Q_{\text{н}}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{н}}$ - подача насоса, $\text{м}^3/\text{ч}$ (таблица 2).

Таблица 2 – Технические характеристики используемых грунтовых насосов

Марка насоса	Характеристика насоса			Характеристика электродвигателя		Габариты насоса, мм	Масса насоса, кг
	подача, $\text{м}^3/\text{ч}$	напор, м.вод.ст	диаметр рабочего колеса, мм	частота вращения, об/мин	мощность, кВт		
Д500-65	500	65	465	1450	160	1160x970x822	616
				1450	132		
(10д-6)	500	45	455	1500	125		
Д500-36	500	38	525	1000	5555		
(8НД-60)						1160x1250x870	728
Д630-90	630	90	525	1450	250		
	600	82	500	1450	250		
Д800-5Т				1500	132		
	800	57	432	1450	200	1197x1185x1105	813
				1500	200		
Д1250-125	1250	125	625	1450	630		
	1150	106	575	1450	630	1438x1240x1105	1784
(12НДс-60)	1000	44	400	1450	200		
Д1000-40	1000	40	540	960	132		

Продолжение таблицы 2

Марка насоса	Характеристика насоса			Характеристика электродвигателя		Габариты насоса, мм	Масса насоса, кг
	подача, м ³ /ч	напор, м.вод.ст	диаметр рабочего колеса, мм	частота вращения, об/мин	мощность, кВт		
	950	36	510	960	100	1430x1345x1075	1514
(14НДс)	1400	70	480	1450			
Д2000-100	2000	100		985	800		
	2300	80	854	1000	800		2480
(20Д-6)	1450	107		985	630	2051x1550x1415	
	1350	93		750			
Д2500-45	2500	45		750	400		
			740	735	400	2320x2300x1500	
(20НДс)	2700	39		735	100		
Д2500-62	2500	62		985	500		2200
(1ВНДс)	2700	58		985	500	2130x2080x1435	
	2000	34			250		
Д3200-30	3200	33		985	320		2934
	3200	32	550	985	315		
(20НДс)						2262x1760x1500	
Д3200-75	3200	75	755	985	800		4150
	3420	71	755	1000	800	2450x222x1750	
(22НДс)	2500	45	750	750	400		
Д3200-75	3200	75	755	935	800		4152
						2320x2310x1096	

Диаметр водовода:

$$D_B = 1,128 \sqrt{\frac{Q_B}{V_B}}, \quad (7)$$

где Q_B - расход воды в водоводе, м³/с.

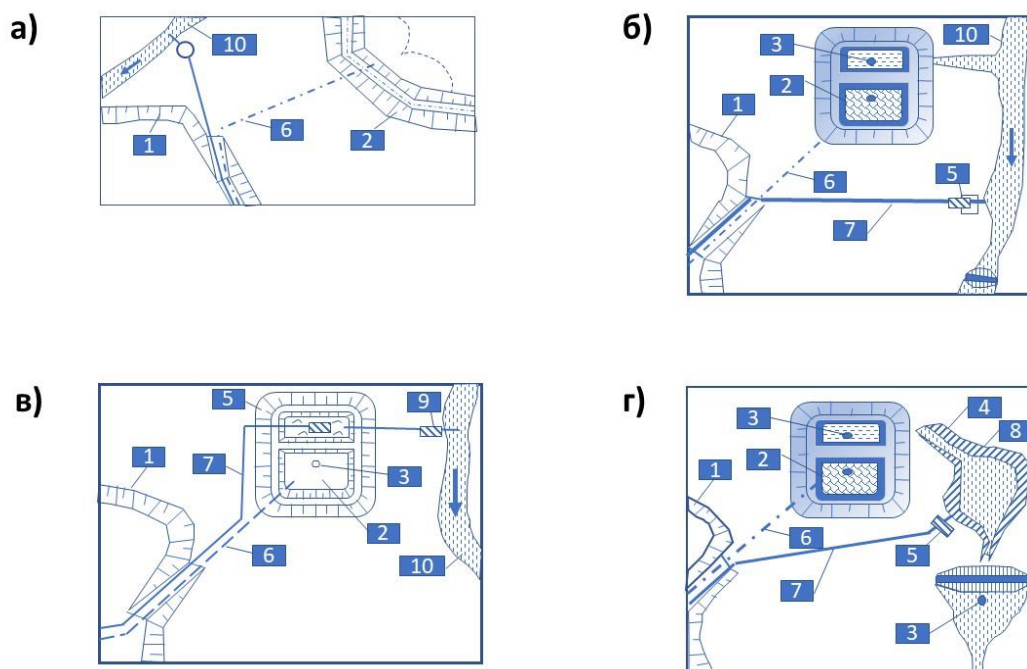
При напорном способе подачи воды существует прямоточное водоснабжение (рисунок 2.8) и водоснабжение с кругооборотом. Для обеспечения прямоточного водоснабжения необходимо, чтобы дебит водоисточника Q_B был больше или равен расходу воды гидроустановок, т.е.:

$$Q_B \geq q_B \cdot A_{nn} + q_{fi}, \quad (8)$$

где A_{nn} - часовая производительность установки по породе, м³/ч;

q_{fi} - потери воды на фильтрацию и испарение, м³/ч.

Фильтрационные потери при наличии грунтовых вод незначительны, поэтому в расчетах ими можно пренебречь.



а - прямоточное напорное водоснабжение, *б* - обратное с возвратом осветленной воды в водоисточник, *в* - обратное с расположением плавучей насосной станции в прудке закладочной карты, *г* - обратное с устройством водохранилища, 1 - карьер, 2 - гидроотвал, 3 - водосборный колодец, 4 - водосборная канава, 5 - насосная станция, 6 - пульповод, 7 - водовод, 8 - водохранилище, 9 - насосная станция подпитки, 10 – река

Рисунок 1 - Схемы водоснабжения

При отсутствии источников воды с необходимым дебитом используется водоснабжение с кругооборотом воды и для восполнения потерь воды в системе необходимо иметь источник воды.

Необходимое количество воды для подпитки определяется по формуле:

$$Q_{nod} \geq q_{fi}^1, \quad (9)$$

где q_{fi}^1 - потери воды на испарение и фильтрацию в гидроотвале, м³/ч.

В зависимости от физико-механических свойств пород, площади испарения, остаточной влажности на гидроотвале и других условий потери воды составляют 5-20% производительности насосной станции.

При разработке месторождения открытым способом подпитку можно производить за счет грунтовых вод, суточный приток (м³) которых определяется по формуле:

$$Q_{ГВ} = \kappa_{\phi} (h_{в}^2 - h_{во}^2) / R_{от} \quad (10)$$

где κ_{ϕ} - коэффициент фильтрации, м/сут;

$h_{в}$ - глубина заполнения горной выработки водом, м;

$h_{во}$ - глубина воды в горной выработке при откачке, м;

$R_{от}$ - радиус откачки, м.

Значения κ_{ϕ} и $R_{от}$ для различных пород приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Значения коэффициента фильтрации и радиуса откачки

Породы	Коэффициент фильтрации, k_f , м/сут	Радиус откачки, $R_{от}$, м
Галечные	500-900	400-600
Гравийно-песчаные	200-400	-
Крупный песок	50-100	200-400
Средний песок	25-10	100-200
Мелкий песок	10-40	50-100
Очень мелкий песок	5-15	-
Суспесчаные	0,08-5	-

При схеме оборотного водоснабжения вода из источника поступает к гидроустановке. После осветления вода поступает для повторного ее использования (рисунок 1). При оборотном водоснабжении насосная станция может располагаться в отстойнике гидроотвала с подпиткой воды из водохранилища, аккумулирующего паводковые и ливневые воды.

При работе гидроустановок на хорошо обводненных месторождениях, расположенных в долинах крупных рек, необходимость в дополнительном водоснабжении отпадает, но особое значение приобретает осветление технологических вод, сбрасываемых из разреза в водоем общего пользования.

На месторождениях с недостаточной обводненностью для обеспечения нормальных условий эксплуатации гидроустановок необходимо осуществлять искусственное регулирование стока путем сооружения водохранилища (или системы водохранилищ), вмещающего запас воды, накапливаемый в период избытка естественного стока, чтобы из него пополнять запасы, когда потребность в воде превышает ее поступление из естественного источника.

Объем водохранилища определяется, как правило, на основе водохозяйственных расчетов, в которых увязываются графики водопотребления и стока, учитываются потери воды и необходимая степень обеспеченности водой.

Необходимый приток воды должен удовлетворять условию:

$$Q_{под} + Q_{пов} + Q_{доп} = Q_{пр} + Q_{ос}, \quad (11)$$

где $Q_{под}$ - приток подземных вод, $м^3/с$;

$Q_{пов}$ - поверхностный приток, $м^3/с$;

$Q_{доп}$ - дополнительный приток воды, $м^3/с$;

$Q_{пр}$ - потери воды от просачивания, $м^3/с$;

$Q_{ос}$ - поверхностный сток воды для осветления, $м^3/с$;

$$Q_{пр} = 0,5 \cdot k_f \cdot L_b \cdot H_{под}^2, \quad (12)$$

где k_f - коэффициент фильтрации наносов, м/с;

L_b - длина борта горной выработки, м;

$H_{под}$ - глубина уровня подземных вод, м.

Потери воды от просачивания составляют 10-100 $м^3/с$ (при сильно трещиноватом или сыпучем массиве утечка может быть значительно больше).

Поверхностный сток для осветления воды определяется по формуле:

$$Q_{ос} = (\mu_d \cdot a_1 + \eta \cdot \mu_n \cdot a_2) \cdot Q_d \quad (13)$$

где $\mu_d=0,002-0,1$ - коэффициент засоренности пород древесными остатками (равный мощности слоя древесных остатков к общей мощности месторождения);

$a_1=100-150$ - удельный расход воды для выноса древесных остатков, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

$\eta=0,4-1$ - коэффициент выноса частиц (равный отношению объема илесто-глинистых частиц), подлежащих выносу, к общему их объему);

μ_n - коэффициент илестости пород (равный отношению объема илесто-глинистых частиц к общему их объему);

Q_n - производительность гидроустановки по породе (в целике), $\text{м}^3/\text{с}$;

$a_2=10-12$ - удельный расход воды для выноса илестых частиц, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

В зависимости от физико-механических свойств пород, площади испарения, остаточной влажности на гидроотвале и других условий потери воды составляют 5-20 % производительности насосной станции.

Библиографический список

1. Проектирование гидромеханизации открытых горных работ. И.М. Ялтанец Издательство МГГУ, 1994.
2. СП 39.13330.2012 Плотины из грунтовых материалов. Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84* (с Изменениями N 1, 2, 3).
3. Разработка технологии и режимов формирования высоких гидроотвалов 1984, Голяк, Сергей Алексеевич.
4. Гидравлическая и механогидравлическая рекультивация открытых горных выработок. 2016, Горшков Михаил Дмитриевич, Сенкус Валентин Витаутасович, Мансуров Андрей Львович, Сенкус Витаутас Валентинович Горный информационно-аналитический бюллетень. № 4, 2016 С. 131–139.

УДК 622.4 (571.56)

КОМБИНИРОВАННОЕ ПРОВЕТРИВАНИЕ РУДНИКА В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Ворсина А.М., Агеев Дан.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Никитина А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В статье рассматривается проблема подземной вентиляции рудника Удачный в условиях Республики Саха, предлагается способ снижения уровня утечки воздуха во всех горизонтах рудного пласта.

Ключевые слова: вентиляция, воздухоподающие скважины, утечки, рудник.

Большое значение имеют запасы полезных ископаемых крайнего севера, в том числе кимберлитовая трубка Удачная, которая расположена на правом берегу реки Далдын в центральной части ее бассейна и географически относится к Мирнинскому району Республики Саха (Якутия). Разработка кимберлитовой трубки является приоритетом. Особенности природных условий Крайнего Севера определяют их влияние на добычу полезных ископаемых. Запасы сначала разрабатывались на бортах карьера, затем началась разработка запасов под дном карьера.

Нужно снизить утечки воздуха в рудопородную подушку на всех горизонтах рудника, а также внедрить комбинированный способ проветривания, за счет установки всасывающего вентилятора.

Месторождение находится на правобережье реки Далдын в центральной части ее бассейна и территориально относится к Мирнинскому району Республики Саха.

Западное рудное тело пронизано многочисленными крутопадающими зонами дробления и представляет собой относительно проницаемую систему. Кимберлиты в зонах дробления сильно выщелочены и дезинтегрированы.

Восточное рудное тело менее трещиновато по сравнению с Западным, почти не содержит крупных полостей и пустот, зоны повышенной трещиноватости отмечены лишь в приконтактных частях трубки (рисунок 1).

Рудник является газоопасным. Газоносность месторождения обусловлена наличием растворенных в нефтях и рассолах газов. Схема проветривания рудника центральная, при этом часть исходящего воздуха выдается через порталы в борт карьера, способ проветривания – нагнетательный [1].

Во время добычи полезных ископаемых атмосфера горных выработок постоянно загрязняется токсичными газами, которые выделяются во время взрывных работ, а также пылью. Наибольшая сложность в организации вентиляции возникает при разработке крупных рудных месторождений, так как в этом случае блоки имеют сложную разветвленную сеть подготовительных и нарезных выработок. Для решения проблемы требуется непрерывная подача в блок свежего воздуха и удаление отработанного [2].

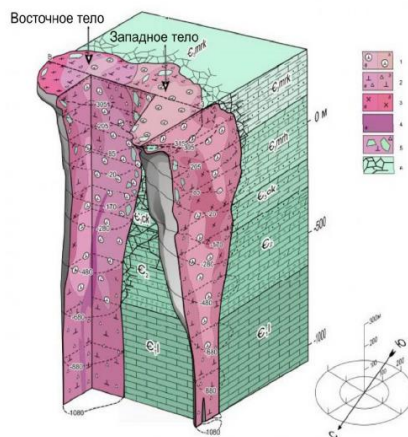


Рисунок 1- Кимберлитовая трубка «Удачная»

Для обеспечения наиболее эффективного проветривания предлагается комбинированный способ проветривание рудника, за счет установки всасывающего вентилятора (рисунок 2).

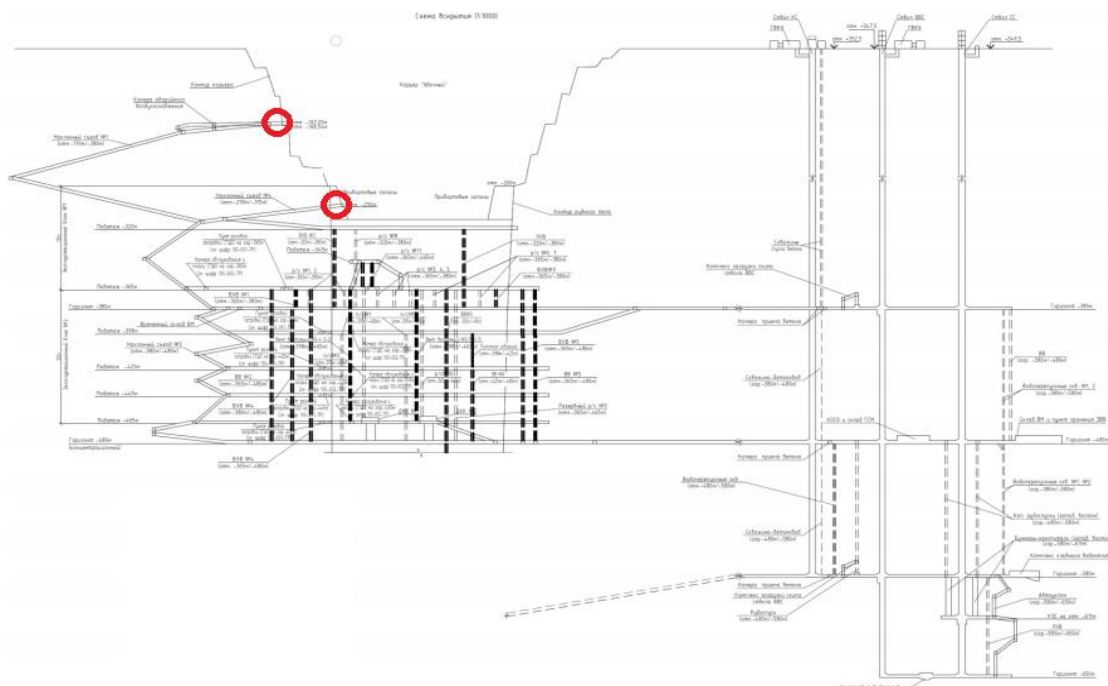


Рисунок 2 – Схема проветривания подземного рудника «Удачный»

Достоинства установки всасывающих вентиляторов:

- повышение надежности работы системы вентиляции;
- возможность получать высокие перепады давления при относительно небольших депрессиях вентилятора;
- возможность существенно снизить подсосы или утечки воздуха с поверхности.
- Ну и также присутствуют недостатки установки всасывающих вентиляторов:
 - При применении нескольких вентиляторных установок главного проветривания усложняется процесс регулирования воздушных потоков;
 - Наличие двух и более вентиляторных установок.

Рассмотрев множество вариантов, мы предлагаем установить на руднике «Удачный» всасывающую установку с вентилятором ВОД-21.

Всасывающая вентиляторная установка с осевым реверсивным вентилятором типа ВОД21 диаметром 2100-5000мм состоит из двух вентиляторов 1 (рабочего и резервного), двух приводных асинхронных электродвигателей 2, двух систем смазки 3, унифицированных комплектов аппаратуры автоматизации 4 типа УКАВ-2, вспомогательного оборудования 5 для переключения воздушной струи с рабочего на резервный вентилятор, здания 6, каналов 7, фундаментов 8 и глушителя шума 9. В здании располагаются вентиляторы с приводными электродвигателями, системы смазки (индивидуальные для каждого вентилятора) и унифицированные комплекты аппаратуры автомати-

зации. Здание оборудуется грузоподъемными средствами, необходимыми для обслуживания и ремонта вентиляторов. Обычно это ручные мостовые краны. Здание должно быть оборудовано крышными вентиляторами для нагнетательной вентиляции, которые включаются при остановке обоих вентиляторов главного проветривания во избежание проникновения в здание загазованного воздуха. Всасывающая вентиляторная установка с осевым реверсивным вентилятором типа ВОД-21 представлена на рисунке 3[3].

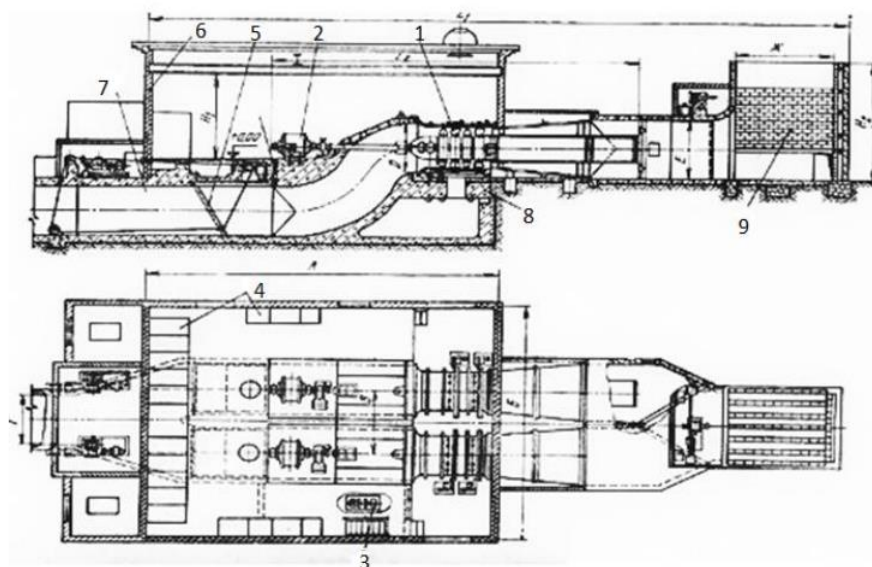


Рисунок 3 – Всасывающая вентиляторная установка с вентилятором типа ВОД-21

В таблице 1 представлена техническая характеристика вентиляторной установки ВОД-21. На рисунке 4 представлен вентилятор ВОД-21.

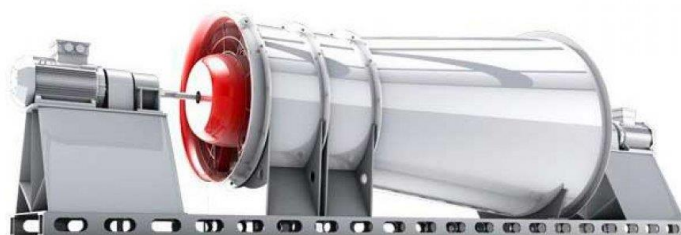


Рисунок 4 – Вентилятор ВОД-21

Таблица 1 – техническая характеристика вентиляторной установки ВОД-21

Параметры	Величина
Диаметр рабочего колеса, мм	2100
Частота вращения вала, об/мин	750
Статический КПД	0,78
Производительность, $3 \text{ м}^3/\text{с}$	62
Статическое давление, Па	3800
Потребляемая мощность в области промышленного использования, кВт	70-380
Маховый момент ротора вентилятора, $\text{Н} \cdot \text{м}^2$	23000
Масса вентилятора, кг	11720

Библиографический список

1. Дроздов А.В. Горно-геологические особенности глубоких горизонтов трубки Удачной // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011.- №3. – С. 153-165.
2. Способы и схемы проветривания шахт // Электронный ресурс: kolavent.ru.
3. Электропривод шахтного вентилятора главного проветривания // Электронный ресурс: TPU720741.pdf.

УДК 622.831

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПЕРЕХОДУ КОМПЛЕКСНО-МЕХАНИЗИРОВАННОГО ЗАБОЯ ПЕРЕДОВЫХ ВЫРАБОТОК БЕЗ СНИЖЕНИЯ НАГРУЗКИ НА ОЧИСТНОЙ ЗАБОЙ

Агеев Дан.А., Ворсина А.М.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Волошин В.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

Показатели работы высокопроизводительных очистных комплексно-механизированных очистных забоев (КМЗ) на угольных шахтах зависят от множества факторов, в том числе от результатов перехода КМЗ передовых выработок.

Ключевые слова: очистной забой, технологические решения, комплексно-механизированный очистной забой, снижение добычи угля, крепи.

По результатам анализа фактических графиков добычи угля при переходе КМЗ передовых горных выработок установлено, что нагрузка на забой снижается более чем на четверть. Нормативные документы и методические указания, обеспечивающие прогноз параметров безопасного и эффективного перехода КМЗ передовых диагональных выработок, отсутствуют. В этой связи актуальной научно-практической задачей является создание методики прогноза параметров безопасной и эффективной технологии перехода КМЗ передовых выработок.

На протяжении многолетнего опыта работы шахты «Осинниковская» переезд очистным забоем передовых выработок, в том числе разрезных печей сопряжен с рядом существенных трудностей. Прежде всего, это связано с потерей устойчивости крепи выработок, разрушением сокращающегося по ширине целика угля, с появлением куполов и вывалов угля с боков выработки.

Снижение добычи угля и повышение риска аварийности в очистном забое, при переезде ранее пройденных пластовых выработок привело к необходимости выполнения научно – исследовательских работ по разработке

мер, приводящих к ликвидации простоев при переезде комплексом передовых выработок.

В ряду научных исследований о передовом опыте зарубежных и отечественных шахт накоплен положительный опыт работы, связанный с устранением негативного влияния горного давления в передовой выработке. На рисунке 1 представлены технологические мероприятия по переходу передовых выработок механизированным комплексом.

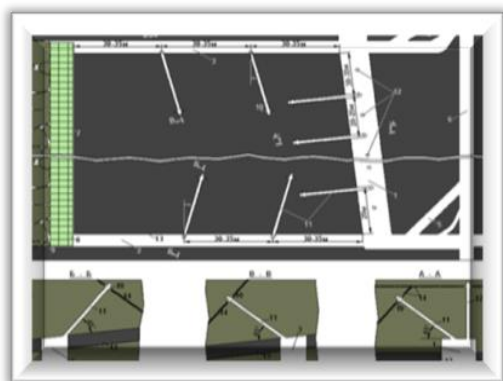
Основные технические решения при переходе передовых выработок механизированным очистным забоем:

Разупрочнение пород кровли перед очистным забоем с помощью гидроторпедирования для принудительной посадки основной кровли. Наибольшие нагрузки на крепь передовой выработки при подходе очистного забоя возникают при зависании прочных пород основной кровли.

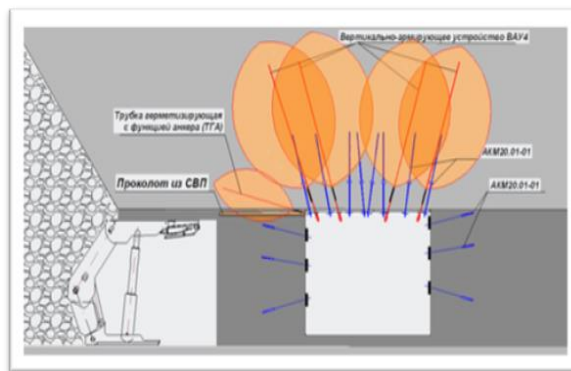
2. Упрочнение неустойчивых слоев непосредственной кровли и полимерными скрепляющими составами для предотвращения преждевременного разрушения непосредственной кровли и куполения перед очистным забоем.

Усиление крепи выработки анкерной или подпорной крепью с повышенной несущей способностью. При потере несущей способности крепи выработки происходит обрушение пород над целиком с образованием куполов значительных размеров.

Для выявления оптимального решения поставленной задачи необходимо произвести поиск альтернативных, малозатратных технологических решений, обеспечивающих безаварийный переход очистным забоем передовой выработки с сохранением плановых объемов добычи угля.



А



Б

А - Схема расположения шпуров для нагнетания смолы Геофлекс из призабойного пространства; Б – Схема упрочнения при трещиноватых породах непосредственной кровли [5]

Рисунок 1 – Проведение мероприятий по безаварийному переходу механизированного очистного забоя опережающей выработки

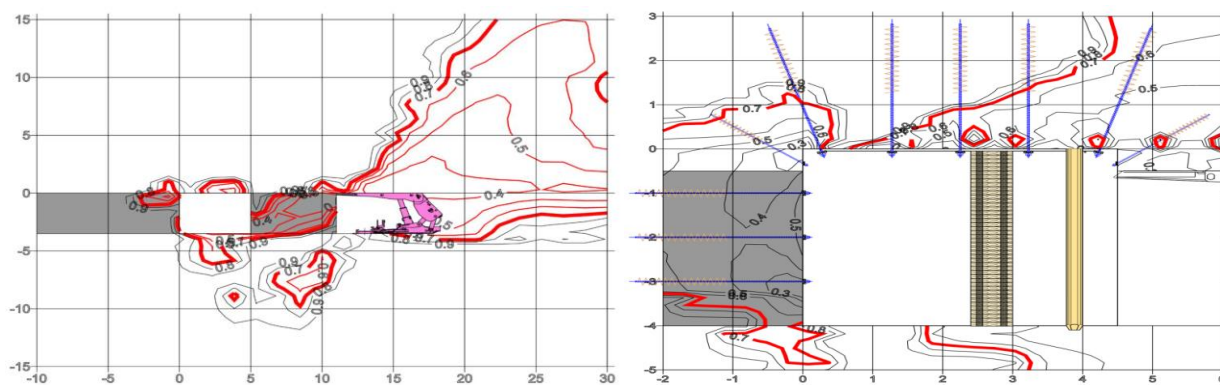
Расчет параметров крепи усиления разрезной печи 4-1-5-7 в условиях шахты «Осинниковская» выполнен в соответствии с требованиями «Инструкций...» с учетом горно-геологических условий ведения горных работ.

На основании выполненных расчетов обоснована необходимость возведения дополнительной крепи усиления для обеспечения безопасного поддержания выработки при переходе ее очистным забоем.

Согласно выполненному расчету, на сопряжении конвейерного штрека с разрезной печью предусмотрены:

- основная крепь: рамная крепь КМП-Т, с шагом установки не более 0,8 м;

- крепь усиления: 3 деревянных рудных стойки под каждый верхняк рамной крепи КМП-Т, камерная рама-балка – двутавр №40, длиной 5,3м, на двух опорах из швеллера №40 (спаренного) либо труб и 10 опорах из деревянных рудстоек, – анкерная крепь, анкеры типа АК20 (ВАУ4) длиной не менее 5,5 м, под металлическую шайбу 300x300x8 мм в сочетании с металлической шайбой 125x125x8 мм, быстровозводимые бетонные тумбы диаметром 0,9 м, под бесконечный продольный подхват из СВП22, с шагом установки 3,0 м. Выбор крепи усиления осуществлялся с учетом численного моделирования условий перехода очистным забоем разрезной печи. Для обеспечения разгрузки угольного пласта заблаговременно до подхода механизированного комплекса проведены мероприятия по снижению напряженно деформированного состояния массива в окрестности разрезной печи методом бурения разгрузочных скважин с параметрами: диаметр 130 мм, шаг бурения 1,1-1,2м. На рисунке 2 представлены результаты моделирования НДС вмещающих пород при переходе комплексом передовой выработки.



А. При подходе механизированного комплекса к выработке на 6 м

Б. Вход механизированного комплекса в разрезную печь

Рисунок 2 - Изменение остаточной прочности пород к первоначальной [6]

Основным фактором, определяющим необходимость создания методики шахтного мониторинга за состояние крепи и вмещающих пород являются негативные проявления горного давления, возникающие в виде интенсивного отжима угля с боков, куполения и вывалов с кровли, деформации элементов крепи в выработке.

Результаты мониторинга позволят скорректировать мероприятия по переходу механизированным комплексом ранее пройденной выработки,

своевременно выявить признаки опасных ситуаций, рационально выбрать мероприятия по усилению крепи, что обеспечивает безопасность ведения горных работ.

На основании предыдущего опыта перехода комплексно-механизированным забоем передовых выработок по пласту Е-5 шахты «Осинниковская» разработаны мероприятия по безопасной и безаварийной работе забойного оборудования выемочного участка 4-1-5-7.

С целью реализации вышеуказанных требований на основании результатов расчетов параметров крепи разрезной печи 4-1-5-7, анализа горно-геологической информации, опыта ведения работ на больших глубинах в аналогичных горно-геологических условиях, результатов ситуационного (численного) моделирования геомеханических процессов при работе очистного забоя 4-1-5-7, рекомендуется:

- выполнять мероприятия по предварительному упрочнению пород непосредственной кровли пласта полимерным составами;

- выполнять мероприятия по разгрузке массива скважинами, отбуренными в угольный пласт в бока выработок;

- производить обязательную установку крепи усиления разрезной печи 4-1-5-7, а также сопряжений конвейерного штрека 4-1-5-7 с разрезной печи 4-1-5-7 и вентиляционным штреком;

- обеспечить максимальные темпы въезда в разрезную печь при ширине целика между выработкой и очистным забоем 7,0м и менее.

Выполнение вышеуказанных мероприятий позволили безаварийно и с поддержанием заданного объема добычи угля выполнить переход опережающей выработки комплексно-механизированным забоем.

Библиографический список

1. Федеральные норма и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» (утв. Приказом Ростехнадзора №550 от 19.11.2013г.).

2. Указания о порядке и контроле безопасного ведения горных работ в опасных зонах (утв. Приказом Минуглепрома СССР от 04.10.1986 №220 и приказом Госгортехнадзора СССР от 16.05.1986 №12).

3. Инструкция по безопасности ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам, РД 05-328-99.

4. Федеральные норма и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах» (Приказом Ростехнадзора №610 от 17.12.2013г.)

5. Патент 2516088, РФ, МПК E21C 41/18. Способ усиления крепи и разгрузки массива при высокой газоносности угля и массива. К.С. Зобов (RU), заявл.01.03.2013; опубл. 20.05.2014. – 10 с. Патент №2472934 Россия МПК E21FD 11/00. Способ перехода очистным забоем выработки, пройденной с подрывкой кровли пласта. Овчаренко Г. В, Федеральное государственное

бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт – Петербургский государственный горный университет».

6. Фрянов В.Н., Разумов Е.А., Волошин В. А. Совершенствование технологических схем перехода передовых выработок механизированным комплексом // Перспективы инновационного развития угольных регионов России : сборник трудов VII Международной научно-практической конференции, Прокопьевск, 20 апреля 2020 г. – Прокопьевск : филиал КузГТУ, 2020. – С. 64–67. – Библиогр.: с. 67 (5 назв.).

7. Шахтные испытания усовершенствованной технологии подземной пластовой дегазации с использованием гидроразрыва/ С.В. Сластунов, Е.П. Ютяев, Е.В. Мазаник, А.П. Садов, А.В. Понизов // Уголь. - 2016. - № 11. - С.32-37. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/112016.pdf> (дата обращения: 07.04.2017).

УДК 622.615:681.51

ТЕХНОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОМОНИТОРНЫХ АГРЕГАТОВ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ

Альвинский Я.А. Григорьев А.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Коряга М.Г.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: alvinskiy_yaa@mail.ru, grigorev_sibsiu@mail.ru*

В статье описывается технология ведения очистных работ с использованием гидромониторных агрегатов без непосредственного присутствия человека в горной выработке.

Ключевые слова: гидромониторные агрегаты, гидроотбойка, шахта, гидротранспорт, безлюдная технология, механизированный комплекс, автоматическое управление.

С увеличением глубины ведения горных работ происходит рост металлообильности угольных пластов, что вызывает дополнительные сложности и затраты при проветривании горных выработок. Это вызывает сдерживание скорости добычных работ. Также ведение горных работ осложняют склонность угольных пластов к динамическим явлениям, таким как горные удары, внезапные выбросы угля и газа.

Для повышения безопасности горных работ ставятся задачи по снижению присутствия человека в проходческих и очистных забоях. Это в свою очередь подразумевает создание безлюдной технологии проведения горных выработок и производства очистных работ [1]. На данном этапе предполагается создание роботизированных комплексов способных работать автономно. Проходческих и очистных комбайнов с возможностью управления ими оператором с поверхности. Внедрение безлюдной технологии позволит сни-

затраты на проветривание горных выработок и повысить безопасность ведения горных работ.

Создание автоматизированной технологии на основе имеющегося горнопроходческого и горнодобычного оборудования не исключает имеющиеся недостатки такие как высокое энергопотребление от 6,5 до 15,5 кВт на тонну угля, необходимость постоянного контроля за рабочими процессами и обслуживанием конвейерного транспорта. Наличие в пласте включений колчедана и других пород высокой крепости, которые преждевременно выводят из строя рабочие органы комбайнов и становятся причиной поломки выемочного оборудования.

Альтернативой традиционного механического разрушения угля является технология создание автоматизированного комплекса гидравлической выемки горной массы с безнапорным гидротранспортом.

Данная технология является менее энергоемкой, потребление электроэнергии на тонну отбитого угля составляет приблизительно 3,5-5 кВт. Доставка горной массы из забоя осуществляемая гидротранспортом самотеком по желобам или по почве выработки.

Минимизация подвижных деталей и агрегатов в технологии выемки и транспорта создает возможность полной автономной работы и упрощения проведения работ по ремонту и обслуживанию оборудования [2]. Применение гидравлической отбойки почти полностью исключает риск поломок исполнительных органов при контакте с включениями пород высокой прочности.

Предлагается замена шнеков добычного комбайна на устройство гидроразмыва представляющее собой коллектор, в виде кольцевой трубы с форсунками (рисунок 1).

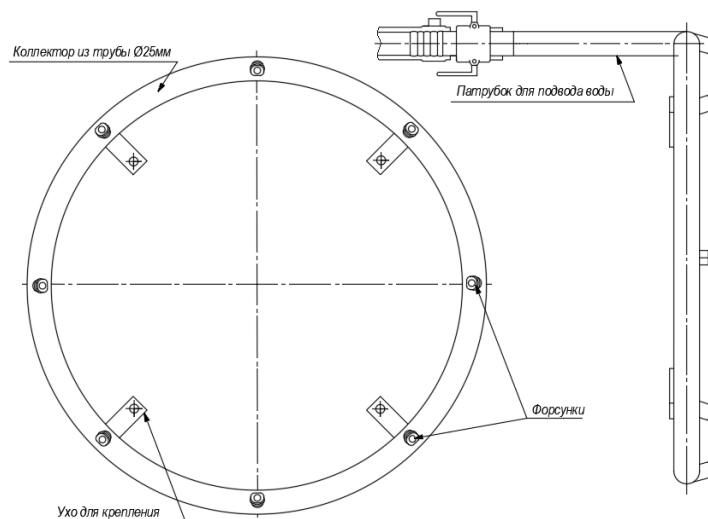


Рисунок 1 – Схема устройства гидроразмыва

Подаваемая на гидромонитор вода под большим давлением вылетая из форсунок будет разбивает уголь в забое лавы превращая его в мелкую фракцию. Для более эффективной работы устройства гидроразмыва, форсунки устанавливаются под разными углами к плоскости кольца [4].

Создание безлюдного комплекса гидравлической выемки планируется на основе существующих механизированных комплексов применяемых в длинных очистных забоях, с использованием секций механизированной крепи или аналогичных устройств с прикрепленным к ним монорельсовой балкой для движения по ней механизированного гидромонитора, которым осуществляется отбойка горной массы. При недостаточном количестве воды, устанавливается дополнительный гидромонитор для образования пульпы. Данный механизированный комплекс отличается сравнительно малым энергопотреблением и низкой металлоемкостью нежели классические варианты механизированной выемки [3].

Также в связи с отсутствием проветривания и особенностями гировыемки рассматривается возможность неполного оконтуривания длинного выемочного столба, а именно проведение только одного штрека и монтажной камеры (рисунок 2). Коммуникации и устройства гидротранспорта располагаются в одном штреке или печи, обеспечивая при этом минимальные затраты на проведение подготовительных выработок.

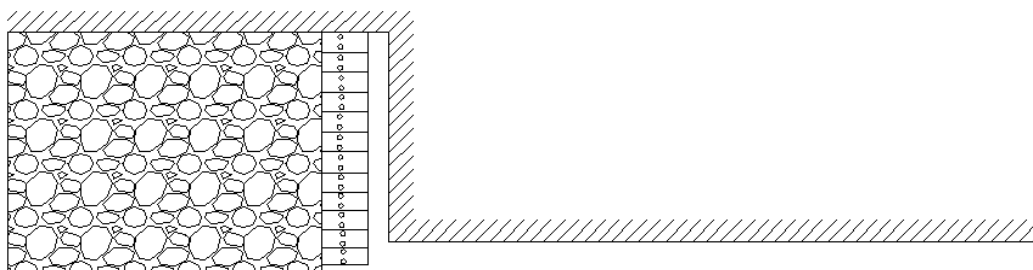


Рисунок 2 – Принципиальная технологическая схема безлюдного очистного забоя с неполным оконтуриванием выемочного столба

Важнейшей особенностью данной технологии является диапазон ее применения на пластах с углом падения $5-60^{\circ}$. Для обеспечения работы безнапорного гидротранспорта необходимо проведение подготовительных выработок с заданным углом наклона.

Для экономии водных ресурсов планируется создание подземных камер обезвоживания угля, фильтрацию и дальнейшее повторное использование в выемочном цикле, что в свою очередь снизит энергозатраты на транспортирование пульпы на поверхность и создание очистных сооружений на поверхности.

После обезвоживания отбитая горная масса транспортируется на поверхность магистральными ленточными конвейерами или другими средствами шахтного транспорта [5].

Предлагаемые решения повысят безопасность ведения подземных горных работ и значительно упростят существующие технологические схемы шахт.

Библиографический список

1. Михеев О.В., Соловьев А.С. Обоснование технологии безлюдной выемки угля с использованием тяжелых сред // Создание техники и

технологии добычи угля без постоянного присутствия людей в забое шахт: Сб. науч. тр. – М.: МГИ, 1984. – С.15-18.

2. Обоснование принципов создания малооперационных технологий при использовании в очистных забоях гидромониторных агрегатов»: [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-printsipov-sozdaniya-malooperatsionnyh-tehnologiy-pri-ispolzovanii-v-ochistnyh-zaboyah-gidromonitornyh-agregatov>, свободный (дата обращения 21.03.2022).

3. Михеева А.Б., Арефьев В.А., Козлов В.В. Разработка малооперационных технологических схем очистных работ для шахт с гидравлическим способом добычи //Горная промышленность. 2017. №1(131). С.41-42.

4. Гидрорыхлители - гидромониторы для гидроразмыва и разработки плотных грунтов и ПГС: [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://toolspro.ru/grindex/box/gdr.html> ,свободный (дата обращения 22.03.2022).

5. Мысак Е.А. Трубчатые конвейеры в горнодобывающей промышленности [Текст] / Е.А. Мысак, М.Г. Коряга // Наука и молодежь : проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ. – 2021. – Вып. 25– Ч.II. Технические науки С. 59-62.

УДК 622.867.2

ОБ ОЦЕНКЕ ВЗРЫВООПАСНОСТИ РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ ПРИ ВЕДЕНИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Хабибулова А.Р.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Коряга М.Г.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: Alina22091999@mail.ru*

В статье приведено описание алгоритма оценки взрывоопасности рудничной атмосферы согласно действующим федеральным нормам и правилам. Приведены сведения о выделяющихся в выработки предельных (насыщенных) и непредельных (ненасыщенных) газообразных углеводородов. Выполнена оценка взрывоопасности рудничной атмосферы с учётом углеводородных газов.

Ключевые слова: горноспасательные работы, взрывоопасность, рудничный воздух, углеводородные газы, треугольники взрываемости, минимальный концентрационный предел

В практике ведения горноспасательных работ, при прогнозе аварийной обстановки и выработке решений на командном пункте, важное место занимает их инженерное обеспечение, в том числе оценка взрывоопасности руд-

ничной атмосферы по отобранным пробам рудничного воздуха [4-8]. В действующих федеральных нормах и правилах «Инструкция по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах, на которых ведутся горные работ» [1] регламентируется порядок выполнения данного расчёта. Он производится по сумме горючих газов – метана, оксида углерода и водорода в смеси с кислородом согласно следующему алгоритму:

- определение общего содержание горючих газов C_r , %, по формуле:

$$C_r = C_{CO} + C_{CH_4} + C_{H_2}, \quad (1)$$

где C_{CO} , C_{CH_4} , C_{H_2} - концентрация, соответственно, оксида углерода, метана и водорода, %.

- определение доли каждого газов в общей смеси по общей формуле

$$P_{газ} = C_{газ} / C_r. \quad (2)$$

- оценка взрывоопасности по треугольнику взрываемости (рисунок 1). Для этого с использованием значения P_{CO} выбирается нужный треугольник и на него наносится точка с координатами (C_r, O_2) , где O_2 – концентрация кислорода, %. При этом если она расположена внутри треугольника (в соответствии со значением P_{CH_4}), то рудничная атмосфера находится во взрывоопасном состоянии.

В целом, стоит иметь в виду, что помимо метана, оксида углерода и водорода в горные выработки происходит выделение также предельных (насыщенных) и непредельных (ненасыщенных) газообразных углеводородов [2]. Выделение этих газов наблюдается в угольных шахтах с нефтегазопроявлениями и зачастую происходит интенсификация их выделения при возникновении рудничных пожаров. В таблице 1 приведены основные свойства данных газов.

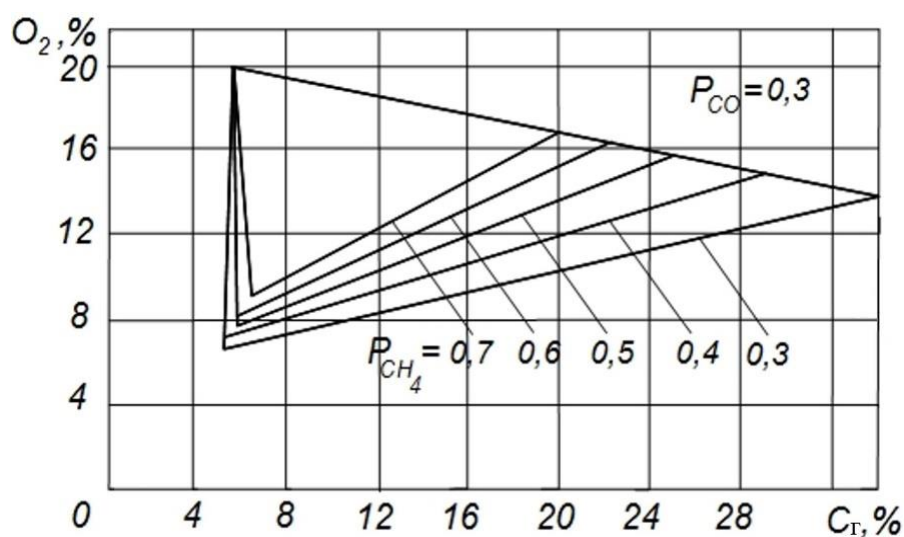


Рисунок 1 – Треугольник взрываемости при $P_{CO}=0,3$ [1]

Таблица 1 – Основные взрывчатые свойства углеводородных газов [2]

Газ	Химическая формула	Общая химическая формула	Относительный удельный вес	Температура воспламенения, °С	Нижний предел взрывчатости смеси с воздухом, %
<i>Предельные (насыщенные) газообразные углеводороды</i>					
Метан	CH_4	C_nH_{2n+2}	1,00	650	5,00
Этан	C_2H_6		1,05	548	2,20
Пропан	C_3H_8		1,56	514	2,40
Бутан	C_4H_{10}		2,07	489	1,50
Пентан	C_5H_{12}		2,49	518	1,45
<i>Непредельные (ненасыщенные) газообразные углеводороды</i>					
Этилен	C_2H_4	C_nH_{2n}	0,97	542	3,00
Ацетилен	C_2H_2	C_nH_{2n-2}	0,91	406	2,50

Из таблицы 1 видно, что углеводородные газы имеют значительно меньший нижний предел взрывчатости и более низкую температуру воспламенения по сравнению с метаном. В связи с этим при выделении данных газов в аварийных условиях в рудничных воздух атмосфера может стать взрывоопасной при меньших содержаниях метана. При этом минимальное содержание в смеси C_c , %, нескольких близких по составу горючих компонентов (метан, водород, предельные и непредельные углеводороды), при котором смесь взрывается, определяется по формуле Ле Шателье [3]:

$$C_c = \frac{100}{\frac{P_{c_1}}{N_1} + \frac{P_{c_2}}{N_2} + \dots + \frac{P_{c_m}}{N_m}}, \quad (3)$$

где $P_{c_1}, P_{c_2}, \dots, P_{c_m}$ - доля каждого из горючих компонентов в общей смеси, %;

N_1, N_2, \dots, N_m - нижний предел взрывчатости каждого из компонентов в смеси, %.

В качестве примера рассмотрен следующий состав рудничного воздуха: метан – 4,5 %; пропан – 0,1 %; бутан – 0,6 %; ацетилен – 0,2 %. Таким образом, общее содержание горючих газов составляет 5,4 %, доля от общей горючей смеси метана $P_{CH_4}=83,0$ %, пропана $P_{C_3H_8}=2,0$ %, бутана $P_{C_4H_{10}}=11,0$ %, ацетилена $P_{C_2H_2}=4,0$ %. По формуле Ле Шателье

$$C_c = \frac{100}{\frac{83,0}{5,00} + \frac{2,0}{2,40} + \frac{11,0}{1,50} + \frac{4,0}{2,50}} = 3,79 \%$$

Из расчёта видно, что минимальный концентрационный предел взрывчатой смеси составляет 3,79 % и рудничная атмосфера становится взрывоопасной при меньшей концентрации. В связи с этим при ведении аварийно-спасательных работ следует дополнительно определять концентрации предельных и непредельных газообразных углеводородов с целью оценки взрывоопасности рудничной атмосферы.

Библиографический список

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах, на которых ведутся горные работ», утверждённые приказом Ростехнадзора от 11.12.2020 № 520 (зарегистрировано Минюстом России 21.12.2020, рег. № 61628).
2. Айруни А.Т., Клебанов Ф.С., Смирнов О.В. Взрывоопасность угольных шахт. – М.: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 264 с.
3. Ушаков К.З., Бурчаков А.С., Пучков Л.А. и др. Аэрология горных предприятий: учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1987. – 421 с.
4. Домрачев А.Н., Говорухин Ю.М., Криволапов В.Г., Палеев Д.Ю. Разработка и реализация алгоритма оценки действий руководителя горноспасательных работ при ликвидации аварий на объектах ведения горных работ // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2019. – № 5. – С.436-438.
5. Говорухин Ю.М., Криволапов В.Г., Палеев Д.Ю., Домрачев А.Н. Повышение качества и оперативности выполнения инженерных расчётов при ведении горноспасательных работ // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2019. – № 5. – С.450-453.
6. Говорухин Ю.М., Криволапов В.Г., Домрачев А.Н., Лукашов О.Ю. Программа расчёта вентиляции выемочных участков // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2016. – № 3. – С.445-448.
7. Domrachev A.N., Paleev D.Y., Govorukhin Y.M., Krivolapov V.G., Lipatin V.I. The use expert methods and game theory methods when making decisions during rescue works // Bulletin of Research Center for Safety in Coal Industry (Industrial Safety). – 2014. – № 1. – С.33-36.
8. Домрачев А.Н., Криволапов В.Г., Говорухин Ю.М., Палеев Д.Ю. К вопросу о формализации оценки действий руководителя ликвидации аварии при ведении аварийно-спасательных работ на горных предприятиях // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2018. – № 4. – С.476-479.

СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЕДЕНИИ РАБОТ ПО ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Розум И.Г.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Коряга М.Г.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: Rozum.1999@inbox.ru*

В статье рассмотрены основные тенденции развития систем поддержки принятия решений. Представлены современные защищённые портативные планшеты для опасных производственных объектов, которые возможно использовать для прогноза и оценки аварийной обстановки. Изложены рекомендации по повышению уровня безопасности и координации сил ВГСЧ.

Ключевые слова: принятие решений, защищённые планшеты, аварийная обстановка, прогноз, оценка, инженерные расчёты, эффективность управления.

Развитие вычислительной техники и связанная с этим процессом интенсивная цифровизация мировой промышленности привели к разработке значительного количества различных систем поддержки принятия решений [1-6]. В рамках данных систем возможно выполнение сложных инженерных расчётов, сбора, анализа и обобщения больших массивов данных в процессе функционирования ГИС-систем. Это повышает информативность и эффективность управления и позволяет оценивать аварийную обстановку и прогнозировать её развитие. Применение данных систем возможно, как с использованием стационарных вычислительных комплексов, так и планшетных компьютеров во взрывозащищённом исполнении. Такие портативные устройства возможно использовать отделениями в подземных условиях при разведке и выполнении работ в качестве средства улучшения своей ситуационной осведомлённости.

Данные планшеты работают под управлением таких операционных систем, как MS Windows, GNU/Linux. Их масса составляет всего около 1 кг, что в совокупности с незначительными габаритными размерами обеспечивает их достаточно комфортное использование (рисунок 1). Они имеют изоляцию от пыли и влаги, устойчивы к ударам и сотрясениям. Корпусы и экраны изготавливаются из материалов не подверженных царапинам, а также зачастую из стойких к высоким и низким температурам.

Данные устройства могут работать как с компьютерными моделями шахтной вентиляции сети, что позволяет их использовать в качестве средства навигации в аварийных горных выработках, так и оперативно выполнять необходимые расчёты, например, оценивать взрывоопасность рудничной атмосферы на основе отобранных проб воздуха (рисунок 2). Такие зада-

чи позволяют решать специализированные программные продукты, например, такие как «Вентиляция», «Ударная волна», «Аэросеть» и «Электронный блокнот руководителя группы инженерного обеспечения».



а – планшет «Умный напарник» и видеозэндоскоп; б – Искробезопасный планшет комбинированный ИПК; в – Aegex10; г – Torex FS52

Рисунок 1 – Защищённые планшеты для опасных производственных объектов [7-10]

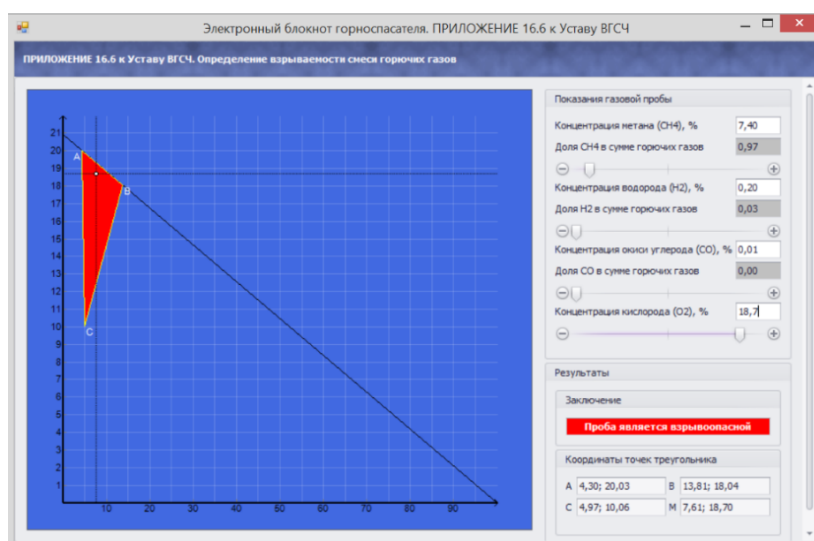


Рисунок 2 – Определение взрывоопасности горючих газов [2]

Внедрение современных программных и технических средств, в практике ведения аварийно-спасательных работ, позволит повысить уровень координации сил в системе ВГСЧ МЧС России и безопасность выполнения работ.

Библиографический список

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах, на которых ведутся горные работы», утверждённые приказом Ростехнадзора от 11.12.2020 № 520 (зарегистрировано Минюстом России 21.12.2020, рег. № 61628).

2. Говорухин Ю.М., Криволапов В.Г., Палеев Д.Ю., Домрачев А.Н. Повышение качества и оперативности выполнения инженерных расчётов при ведении горноспасательных работ // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2019. – № 5. – С.450-453.

3. Говорухин Ю.М., Криволапов В.Г., Домрачев А.Н., Лукашов О.Ю. Программа расчёта вентиляции выемочных участков // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2016. – № 3. – С.445-448.

4. Domrachev A.N., Paleev D.Y., Govorukhin Y.M., Krivolapov V.G., Lipatin V.I. The use expert methods and game theory methods when making decisions during rescue works // Bulletin of Research Center for Safety in Coal Industry (Industrial Safety). – 2014. – № 1. – С.33-36.

5. Домрачев А.Н., Криволапов В.Г., Говорухин Ю.М., Палеев Д.Ю. К вопросу о формализации оценки действий руководителя ликвидации аварии при ведении аварийно-спасательных работ на горных предприятиях // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2018. – № 4. – С.476-479.

6. Домрачев А.Н., Говорухин Ю.М., Криволапов В.Г., Палеев Д.Ю. Разработка и реализация алгоритма оценки действий руководителя горноспасательных работ при ликвидации аварий на объектах ведения горных работ // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2019. – № 5. – С.436-438.

7. Ворошилов Я.С. «Напарник» – взрывозащищённый помощник // Горная промышленность. – № 5. – 2019. – С.26-27. – URL: <https://mining-media.ru/ru/article/prombez/15202-naparnik-vzryvozashchishchjonnyj-pomoshchnik> (дата обращения 25.02.2022).

8. TOREX FS2 NEW – URL: <https://www.torex.tools/ru/torex-fs/torex-fs2-new.html> (дата обращения 25.02.2022).

9. Искробезопасный планшет комбинированный ИПК. Davis Derby Minewatch. – URL: <http://www.davisderby.ru/tablet/> (дата обращения 25.02.2022).

10. Искробезопасный планшет Aegex 10. – URL: <https://arctex.ru/category/iskrobezopastnyy-planshet-aegex> (дата обращения 25.02.2022).

ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА

Подосинников М.В., Иванов Е.С.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Громова О.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В статье речь идет об использовании альтернативного источника электроэнергии, в частности о ветроэнергетике.

Ключевые слова: Ветер, электроэнергия, источник, ветрогенератор.

Люди использовали энергию ветра на протяжении многих веков. Ветер помогал древним людям управлять лодками и кораблями на реке и море, помогал качать воду и молоть зерно с помощью ветряной мельницы. Ветряная мельница. – аэродинамический механизм выполняющий работу, за счёт кинетической энергии ветра [1].

На сегодня ветроэнергетика прочно заняла свое место в качестве альтернативного источника энергии, экологически чистый способ получения электроэнергии привлекает инвесторов, а отрасль продолжает стремительно развиваться и распространяться. Этому способствуют последние достижения в области разработки новых видов генераторов электрической энергии (например, синхронные генераторы с возбуждением от постоянных магнитов, генераторы с поперечным магнитным потоком), а также активное распространение положительного мнения о ветроэнергетике в СМИ и других источниках информации, достижения в области силовой электроники, новых материалов и использование современных методов компьютерного моделирования задач электродинамики и аэродинамики.

Ветер – поток воздуха, движущийся около земной поверхности в горизонтальном направлении.

Ветер появляется вследствие разницы в давлении между двумя разными воздушными областями, движется с ускорением от зоны высокого давления в зону низкого давления [2].

Ветроэнергетика - это отрасль альтернативной энергетики, получающая электричество путем преобразования кинетической энергии воздушных масс (ветра) в электрическую, с помощью ветрогенераторов.

В отличие от ископаемого топлива, энергия ветра практически неисчерпаема, повсеместно доступна и более экологична, хотя экологична она только в момент непосредственной эксплуатации ветрогенератора, при его утилизации причиняется большой вред окружающей среде из-за отходов, что появляются из-за невозможности переработки выведенных из работы лопастей ветроколеса.

Сооружение ветряных электростанций сопряжено с некоторыми трудностями технического и экономического характера, замедляющими распро-

странение ветроэнергетики. В частности, непостоянство ветровых потоков не создаёт проблем при небольшой доле ветроэнергетики в общем производстве электроэнергии, однако при росте этой доли возрастают также и проблемы надёжности производства электроэнергии. Для решения подобных проблем используется интеллектуальное управление распределением электроэнергии [3].

Устройство ветроэлектростанции

Ветроэлектростанция – это несколько ветроустановок установленных в одном или нескольких местах и объединенных в единую сеть. Крупные ветровые электростанции могут состоять из 100 и более ветроустановок

(Китай «Ганьсю», Индия «Джайсалмер», США «Альта» и т.д.). Минимальное расстояние между ветроустановками должно составлять не менее трех высот самой высокой ветроустановки ветропарка [6].

Наземные ветроэлектростанции

Наземные ветряные электростанции - это распространенный в настоящее время вид ветровых электростанций. Ветрогенераторы в таких станциях устанавливаются на полях, холмах или возвышенностях. Промышленный генератор строится на подготовленной площадке из фундамента. Для строительства необходима дорога до строительной площадки и тяжелая подъемная техника с выносом стрелы более 100 метров т.к. гондолы устанавливаются выше или на этой высоте.

Офшорные ветроэлектростанции

Офшорные ветроэлектростанции – станции, ветропарк которых расположен полностью в прибрежной зоне, представлены на рисунке 12.

Прибрежная зона является перспективным местом для расположения ветроэлектростанции т.к. ветроустановки не занимают земельное пространство, на которое при проектировании станции ветропарков пришлось бы большая доля затрат на покупку или аренду земли, это актуально для стран с очень дорогими земельными участками (ЕС, США, Китай, Япония). Шум который производят ветроустановки в прибрежных зонах не доходит до жилых районов, шум от современных ветроустановок на расстоянии 20 метров составляет 40-100 дБ, в зависимости от мощности, для сравнения, шумовой фон ночью в большом городе варьируется от 10 до 40 дБ, а в рабочем офисе до 60 дБ [2].

Наибольшее распространение в мире получила конструкция ветрогенератора с тремя лопастями и горизонтальной осью вращения, хотя кое-где ещё встречаются и двухлопастные. Трехлопастные ветрогенераторы наиболее распространены из-за того что при таком их числе, достигается наиболее эффективный компромисс между скоростью вращения и величиной крутящего момента. Мощность ветроустановок и размеры представлены в таблице 1.

$$M \propto V,$$

Наиболее эффективной конструкцией для территорий с малой скоростью ветровых потоков признаны ветрогенераторы с вертикальной осью

вращения, так называемые роторные, или карусельного типа, представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Ветрогенератор с вертикальной осью вращения

Сейчас все больше производителей переходят на производство таких установок, так как далеко не все потребители живут на побережьях, а скорость континентальных ветров обычно находится в диапазоне от 3 до 12 м/с. В таком ветрорежиме эффективность вертикальной установки намного выше. У вертикальных ветрогенераторов есть ещё несколько существенных преимуществ: они практически бесшумны, и не требуют совершенно никакого обслуживания, при сроке службы более 20 лет. Системы торможения, разработанные в последние годы, гарантируют стабильную работу даже при периодических шквальных порывах до 60 м/с [11].

Воздушные потоки у поверхности земли, моря являются турбулентными, а нижележащие слои тормозят расположенные выше. Этот эффект заметен до высоты 2 км, но резко снижается уже на высотах больше 100 метров, поэтому размещают ветроустановку так, что бы нижняя точка лопасти ветроколеса была выше 100 метров. Высота расположения генератора выше этого приземного слоя одновременно позволяет увеличить диаметр лопастей, на сегодняшний день рекорд составляет 88,4 метра. Современные генераторы (2010 год и более) уже вышли на этот рубеж, и их количество резко растёт в мире. Ветрогенератор начинает производить ток при ветре 3 м/с и отключается при ветре более 25 м/с, при таком ветре количество вырабатываемой энергии не увеличивается, а сила давления на ветроколесо возрастает. Эта сила может опрокинуть ветроустановку, но если его остановить то площадь, на которую давит ветер сократиться до суммы площади лопастей, тогда как при вращающемся колесе, сила ветра бы давила на площадь круга, именно так ветроустановки переносят штормовые ветра. Максимальная мощность достигается при скорости ветра примерно 15 м/с. Отдаваемая мощность пропорциональна третьей степени скорости ветра: при увеличении ветра вдвое, от 5 м/с до 10 м/с, мощность увеличивается в восемь раз.

$$P_0 \propto V_B^3 ,$$

где P_0 - отдаваемая мощность, Вт,

V_B - скорость ветра, м/с.

Таблица 1 – Мощности ветроустановок и их размеры

Параметр	1 МВт	2 МВт	2,3 МВт
Высота мачты	50 м – 60 м	80 м	80 м
Длина лопасти	26 м	37 м	40 м
Диаметр ротора	54 м	76 м	83 м
Вес ротора на оси	25 т	52 т	52 т
Полный вес машинного отделения	40 т	82 т	85 т

Элементы ветроустановки

- **Фундамент.** Необходим для создания устойчивого положения ветрогенератора при нагрузке на лопасти. Состоит из железобетона, а плавучие основания состоят из металлических прутьев и резинного полотна.

- **Башня.** На нее крепится ротор, гондола и генератор. Состоит из алюминия или стали, крепится к фундаменту на анкерные болты.

- **Гондола.** Внутри нее располагаются основные компоненты управления генераторного модуля, среди них: гидравлическая система, система торможения. Состоит из того же материала что и башня.

- **Генератор.** Прикрепляется к гондоле и служит преобразователем механической энергии в электрическую, так же содержит в себе автоматику регулирующую обороты вращения вала.

- **Ветроколесо.** Прикрепляется к генератору. Состоит из ступицы и обычно трех лопастей, но бывают конструкции с другим числом, у ветрогенераторов с горизонтальной осью вращения, у ветрогенераторов с вертикальной осью вращения состоит из ступицы на которой, через металлические трубки прикреплены три вертикально расположенные лопасти, или другое их число. Состоит из дерева, алюминия, поливинилхлорида или стеклопластика.

Устройство горизонтальной ветроустановки представлено на рисунке 2.

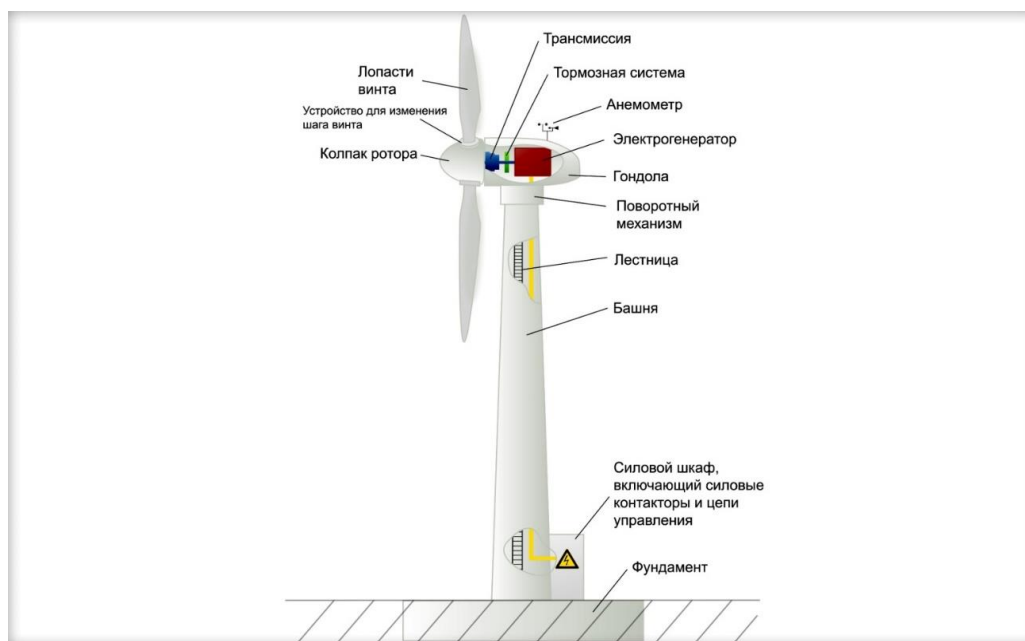


Рисунок 2 - Устройство горизонтальной ветроустановки

Выводы:

1. Дана характеристика ветров России и мира с указанием скорости.
2. Рассмотрена конструкция ветрогенераторов.
3. Рассмотрены перспективы развития ВЭС в Российской Федерации.

Библиографический список

1. Министерство энергетики Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/>.
2. Ветрогенераторы - "за" и "против" LiveJournal [Электронный ресурс]. URL: <https://natali-99.livejournal.com/3933.html>.
3. Энергия из воздуха. Как развивается ветряная генерация в России и мире [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rusnano.com/news/20201130-inc-kak-razvivaetsya-vetryanaya-generatsiya-v-rossii-i-mire/>.
4. В.С.Кривцов, А.М.Олейников, А.И.Яковлев. «Неисчерпаемая энергия. Книга 1. Ветроэлектрогенераторы»
5. Жирков, В. В. Современное состояние и перспективы ветроэнергетики в мире / В. В. Жирков. -Текст : непосредственный // Молодой ученый. - 2021. - № 25 (367). - С. 163-167. - URL: <https://moluch.ru/archive/367/82657/>.

УДК 621.31:658

ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Подосинников М.В., Иванов Е.С.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Громова О.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В статье рассмотрены вопросы генерации электрической энергии на сегодняшний день.

Ключевые слова: генератор, электроэнергия, источник,

Генерация электрической энергии

Генерация электричества – процесс производства электроэнергии, путем ее преобразования из других видов энергии, используя специальные технические устройства.

В электроэнергетике генерация есть первый этап доставки электроэнергии потребителям, следующие этапы – передача, распределение, накопление и восстановление энергии.

Способы генерации электрической энергии

Виды генерации электроэнергии:

- Ядерная энергетика (АЭС).
- Тепловая энергетика (ТЭС).
- Гидроэнергетика (ГЭС).

- Альтернативная энергетика (включает в себя ветроэнергетику, солнечную энергетика, биотопливо, геотермальную энергетика и водородную энергетика).

- Электрохимия.

Структура генерации электрической энергии в России

По данным Росстата, баланс электропотребления в России складывается из баланса производства электроэнергии более чем 40 тыс. электростанциями, действующими на территории РФ [1].

Основу энергетики РФ составляют тепловые станции. Они обеспечивают более 70 % производства электроэнергии в РФ. Структура установленной мощности генерации энергии, в %, представлена в таблице 1, а установленная мощность возобновляемой энергетики России в таблице 2.

Таблица 1 – Структура установленной мощности электростанций России, по типу станции на 2018г.

Тип станции	Установленная мощность, %
ТЭС	70,6%
ГЭС	19,1%
АЭС	10%
Возобновляемые источники энергии	0,3%

Таблица 2 - Установленная мощность возобновляемой энергетики России в 2019 г. [2].

Тип	Мощность, МВт
Солнечная	68
Геотермальное	64
ГЭОТЭС	74
Морские ГЭС	550
ВЭС	670
ФЭС	1395

На сегодняшний день Россия обязана повышать процент установленной мощности «зеленой» энергетики в общей системе энергоснабжения своей страны из-за Парижского соглашения.

В 2020 году совокупная мощность генерация ветроэнергетики в мире превысила 651 гВт (в 2,6 раза больше суммарной мощности всей российской электрогенерации 244 ГВт). Прирост мощностей с 2019 по 2020 год составила 10 %, подсчитали эксперты Глобального совета по ветроэнергетике (CWEC). Крупнейшими рынками ветроэнергетики являются Китай и США, на эти страны приходится более 60% введенных в эксплуатацию мощностей. При этом более заметную роль начинает играть оффшорная ветроэнергетика, в 2020 году мощность этого сектора достигла 32,5 ГВт. [3]. Установленная мощность ветроэнергетики по странам представлена в таблице 2.

На 2020 год суммарная установленная мощность ветроэнергетики составляет 1362 МВт. По данным Министерства энергетики в планах к 2024 году, эта цифра должна вырасти до 3357 Мвт. В таблице 3 представлены

действующие ВЭС в РФ.

В условиях умеренно-холодного климата

Учитывая два основных вида средства борьбы с обледенением лопастей, ветроустановки уже сейчас есть возможность, для возведения ветроэлектростанций в северных широтах.

На сегодняшний день в России есть пять действующих ветроэлектростанций работающие в условиях холодной зимы. Это «Ульяновская ВЭС – 1» (Ульяновская область) и «ВЭС с. Тамар-Уткуль» (Оренбургская область), «Анадырская ВЭС» (Чукотский АО), «ВЭС Тикси» (Якутия), а так же одиночная ветроустановка в городе Лабытнаги, мощностью 50,4 МВт, 2.725 МВт, 2,5 МВт, 0,55 МВт, 0,25 МВт соответственно.

Таблица 3- Проектируемые ветроэлектростанции в условиях холодной зимы

Название	Год ввода в эксплуатацию	Мощность МВт
«Ветропарки 13-18» (Ульяновская область)	2022	236
«Мурманская ВЭС» – 21 (Мурманская область)	2022	200,97
«Ветропарки 25-28» (Мурманская область)	2022	150
«Курганская ВЭС» (Курганская область)	2023	40

В системе «ВЭС Тикси» используются три ветроустановки и каждая из них уникальна, потому что они выполнены в арктическом исполнении. Они предназначены для работы в суровых условиях заполярья, могут работать при температуре до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и способны выдержать ветер до 70 м/с. Высота установок 41,5 м, диаметр 31 м. Оборудование произведено Японской компанией «Komaihaltec».

Выводы:

1. Рассмотрен вопрос экологии.
2. Рассмотрены вопросы молниезащиты, заземления, защиты от холода и ураганов.
3. Разработана методика расчёта ветроустановки.
4. Рассмотрены перспективы развития ВЭС в Российской Федерации.

Библиографический список

1. Министерство энергетики Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/>.
2. Ветрогенераторы - "за" и "против" LiveJournal [Электронный ресурс]. URL: <https://natali-99.livejournal.com/3933.html>.
3. Энергия из воздуха. Как развивается ветряная генерация в России и мире [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rusnano.com/news/20201130-inc-kak-razvivaetsya-vetryanaya-generatsiya-v-rossii-i-mire/>.
4. Выгоден ли ветрогенератор? Расчет окупаемости устройства в условиях российской действительности [Электронный ресурс]. URL: [https:// al-](https://al-)

tenergiya.ru/ veter/vygoden-li-vetrogenerator-raschet-okupaemosti-ustrojstva-v-usloviyah-rossijskoj-dejstvitelnosti.html#h2_3.

5. Экологические проблемы ветряных электростанций: вред для окружающей среды и человека [Электронный ресурс]. URL: <https://tutlink.online/2021/11/18/экологические-проблемы-ветряных-эле/>.

6. В.С.Кривцов, А.М.Олейников, А.И.Яковлев. «Неисчерпаемая энергия. Книга 1. Ветроэлектрогенераторы».

7. Жирков, В. В. Современное состояние и перспективы ветроэнергетики в мире / В. В. Жирков. - Текст : непосредственный // Молодой ученый. - 2021. - № 25 (367). - С. 163-167. - URL: <https://moluch.ru/archive/367/82657/>.

8. Парижское соглашение ООН [Электронный ресурс]. URL: <http://paris-equity-check.org/warming-check>.

9. Соболев Я.Г. "Ветроэнергетика" в условиях рынка (2005-2010 гг.) Энергия: Экон., техн. экол. 2010.

10. Григораш О.В., Ступура Ю.П., Сулейманов Р.А. и др. Возобновляемые источники электроэнергии. - Краснодар: КубГАУ, 2012.

УДК 622.817.3:234.573

АППАРАТ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РЕЗКИ МАССИВА ПОРОД И РАСШИРЕНИЯ СКВАЖИН

Альвинский Я.А., Григорьев А.А., Мананников С.Д.

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Коряга М.Г.,
канд. техн. наук, доцент Никитина А.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: alvinskiy_yaa@mail.ru*

В данной статье проведен анализ аппаратов расширения скважин, рассмотрены способы увеличения коэффициента дегазации, предложено техническое решение по их усовершенствованию созданием гидравлического аппарата расширения скважин.

Ключевые слова: расширение скважин, раздвижные скважинные расширители, интенсификация метана, дегазация, метаноотдача.

Повышение эффективности работы угольных шахт в современных условиях связано с ростом нагрузок на очистной забой, которые сдерживаются в связи с увеличением притоков метана из угольных пластов [1]. По мере углубления горных работ ситуация осложняется из-за повышения газоносности угольных пластов. Необходимо разработать новые или усовершенствовать существующие технологии дегазации пластов [2,3] с помощью внедрения нового способа и оборудования для этих целей.

На сегодняшний день одной из основных задач угольной промышленности является разработка эффективного метода дегазации угольных пластов

перед их отработкой. Основными требованиями к новым способам дегазации является их стоимость и эффективность, так как классические методы дегазации бурением сетки скважин не дают необходимого эффекта из-за малой плотности дегазационных скважин в выемочном столбе и низкой интенсификации метаноотдачи угольного пласта по скважинам малого диаметра.

Для повышения коэффициента дегазации необходимо увеличить площадь обнажения или разрыхления угольного пласта. Этого можно добиться увеличением количества скважин, их площади или гидроразрывом пласта. Уплотнение сетки скважин, незначительно повысит площадь обнажения и не даст необходимого эффекта дегазации. Гидроразрыв пласта теоретически намного более эффективнее, но на практике за процессом гидроразрыва невозможно осуществлять контроль и в некоторых случаях его эффективность значительно снижается и практически равна дегазации обычными скважинами.

Рассматривается создание нового способа более эффективной дегазации посредством видоизмененных скважин, которые повысят интенсификацию метаноотдачи угольного пласта за счет повышения газопроницаемости путем увеличения площади сечения отдельных участков скважин. Увеличение площади сечения скважин можно добиться увеличением диаметра бурового инструмента или применением скважинных расширителей.

Как показывает практика применения скважинных расширителей на нефтяном и газовом промысле, способ является довольно действенным, но имеет ряд недостатков, таких как ограниченность размеров расширения, долговечность агрегата и возможность его применить на угольных месторождениях. Применяемые на промысле расширители создают в горных породах полости большого объема со сравнительно небольшими площадями обнажения из-за конструктивных особенностей агрегата, представленных на рисунке 1 [4].

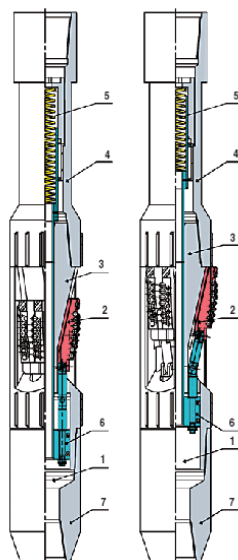


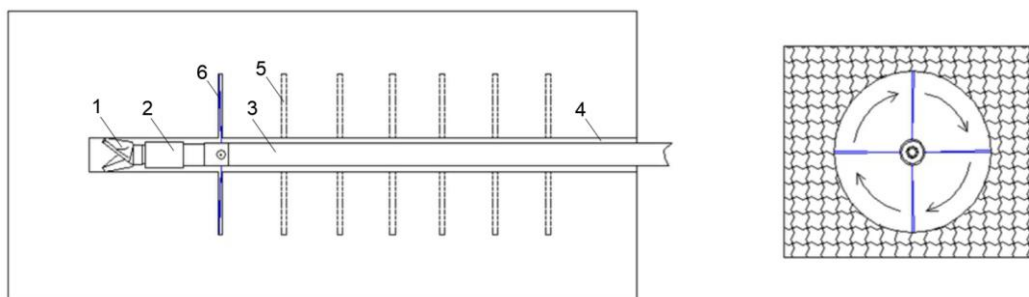
Рисунок 1 – Расширитель раздвижной РРМ 216/240 (а – в транспортном положении; б – в рабочем положении) 1 – гидрокамера; 2 – плашка с резцами PDC; 3 – корпус; 4 – верхний переводник; 5 – пружина; 6 – поршень; 7 – нижний переводник [4]

Представленный агрегат создает небольшие расширения скважин, очень малой площади обнажения, применение которых для дегазации угольных пластов не принесет эффекта. Для создания полостей большего объема применяют расширители схожей конструкции, представленные на рисунке 2 [5]. Данный агрегат применяется на мягких породах создавая цилиндрические или полусферические расширения диаметром до 600 мм. применение данного агрегата для расширения скважин в угольном пласте теоретически повысит коэффициент дегазации, но при расширении этим методом возникнет большое количество буровой мелочи - повышение потерь полезного ископаемого.



Рисунок 2- Расширитель скважин для мягких и средних пород [5]

Поставленная задача заключается в создании инструмента способного образовать полости максимально возможной площади обнажения при минимальном ее объеме. Такими характеристиками обладает диск. Для нарезки дискообразных полостей предлагается создание гидравлического расширителя. Метод нарезки полостей таким инструментом заключается в возможности резания горных пород струями воды высокого давления с вращением агрегата в полости скважины (рисунок 3).

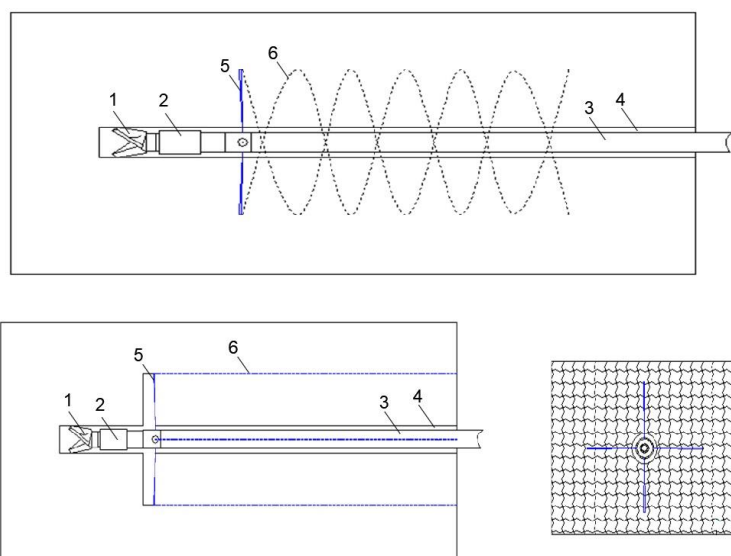


1 – буровая коронка; 2 – аппарат гидравлической резки; 3 – буровая штанга;
4 – скважина; 5 – нарезаемая полость; 6 – струя воды

Рисунок 3 – Схема нарезки дискообразных полостей

Аппарат предусматривает резку массива обратным ходом, то есть после бурения скважины, когда рабочий орган извлекают из скважины, попутно осуществляют резку. Преимуществом данного способа является его универсальность, так как он не имеет ограничений по прочности и вязкости пород, а также по диаметру создаваемых полостей, так как эти показатели зависят только от подаваемого в аппарат давления рабочей жидкости.

Применение данного аппарата не ограничивается дисковым способом резки массива. Возможности инструмента позволяют производить крестовую (звездообразную, в зависимости от числа форсунок) резку массива путем его извлечения - отдаления от забоя скважины, без вращения бурового инструмента, представленную на рисунке 4. При совмещении вращательного и поступательного движения появляется возможность создания спиралевидных разрезов массива (рисунок 4) или же размыва полостей цилиндрической формы. Также планируется применение данного аппарата расширения скважин и полостей различного назначения, размыва грунтов, а также и гидравлической добычи растворимых в воде полезных ископаемых.



1 – буровая коронка; 2 – аппарат гидравлической резки; 3 – буровая штанга;
4 – скважина; 5 – струя воды; 6 – траектория движения

Рисунок 4- Крестовая и спиральная схемы резки

Применение гидравлического расширителя повысит площадь обнажения угольного пласта, и как следствие увеличится метаноотдача. Способность данного инструмента создавать дискообразные полости положительно скажется на добычных показателях, снизит количество буровой мелочи в сравнении с механическими раздвижными расширителями, а также применение жидкости в качестве инструмента резания создает возможность применения агрегата как на мягких и вязких породах, так и на породах с высокой крепостью.

Библиографический список

1. Выбор и обоснование алгоритма моделирования работы длинного очистного забоя с учетом влияния неравномерности метановыделения / А.Н Домрачев, С.В. Риб, А.М. Никитина// Вестник СибГИУ. – 2017. – № 1 (19). - С. 44-45.
2. Найданова А.В. Повышение эффективности дегазации путем увеличения газоотдачи угольного пласта / А.В. Найданова, С.В. Риб, А.М. Никитина // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской

научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13-15 мая 2014 г. Вып. 18. Ч. 2 : Технические науки / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. М. В. Темлянцева. - Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2014. - С. 18-21.

3. Разработка технических и технологических решений по совершенствованию дегазации с использованием направленного бурения для условий ООО "Шахта "Усковская"/ Д.М. Борзых, А.М. Никитина, С.В. Риб, В.А. Волошин // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Сер. "Выпуск 22" Под общ.ред. М.В. Темлянцева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2018. - С. 27-31.

4. Бурение и нефть: Инструменты для разобщения пластов [Электронный ресурс]: сайт.– Режим доступа <https://burneft.ru/archive/issues/2014-06/8>

5. Раздвижные расширители [Электронный ресурс]: сайт.– Режим доступа <https://drillmarket.ru/shop/rasshiriteli-skvazhiny/razdvizhnye-rasshiriteli/>.

УДК 622.274:681.51

БЕЗЛЮДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОТРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Альвинский Я.А., Григорьев А.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Никитина А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: alvinskiy_yaa@mail.ru*

В данной статье приведен анализ динамических явлений, произошедших на угольных шахтах Кузбасса. Представлена технология безлюдной выемки с применением механизированного комплекса при неполном оконтуривании длинного выемочного столба.

Ключевые слова: безлюдная технология, Кузбасс, механизированный комплекс, автоматическое управление, шахта, угольный пласт.

Проведенные исследования за последнее десятилетие позволили установить, что с увеличением глубины разработки наблюдается усложнение горногеологических условий залегания и отработки угольных пластов, заключающихся в наличии трудноуправляемых кровель, предполагающих наличие неустойчивых нижних слоев непосредственной кровли или труднообрушающуюся основную с интенсивным проявлением горного давления. А в условиях отработки высокогазоносных выемочных участков уже в ближайшей перспективе при отсутствии предварительной дегазации даже высокоэффективная текущая дегазация не обеспечивает решения проблем метанобезопасности [1-3]. В таблице 1 приведены динамические явления, произошедшие на угольных предприятиях Кузбасса за период 2017-2021 годы. Решение данной проблемы тесно связано с разработкой и использованием принципиально новых технологий и технических средств, способных быстро адаптироваться к

изменяющимся горно-геологическим и горнотехническим условиям выемки угольных пластов. Эффективными могут быть механизированные способы выемки без присутствия людей в очистном забое. В целях повышения безопасности на угледобывающих предприятиях внедрение систем автоматизации производственных процессов становится основной задачей [4].

Для оптимизации затрат, способствующих улучшению экономической и социальной инфраструктуры угольных предприятий, предлагается внедрение безлюдной технологии отработки тонких пластов длинными выемочными столбами с неполным их оконтуриванием. Новая технологическая схема основана на ведении горных работ без постоянного присутствия людей в забое. Подготовка лавы осуществляется оконтуриванием длинного выемочного столба конвейерным штреком, монтажной камерой и горизонтальной вентиляционной скважиной, заменяемой вентиляционный штрек. Для управления кровлей в очистном забое применяют плавное опускание кровли.

Подготовка осуществляется проведением двух параллельных штреков и двух монтажных камер до отбуренных вентиляционных скважин (рисунок 2).

Таблица 1 – Динамические явления, произошедшие на угольных шахтах Кузбасса 2017-2021 год

№ п/п	Место происшествия	Дата н/с	Кол-во травм.	Вид происшествия	Причина происшествия
1	АО "Распадская-Коксовая" ООО "Распадская угольная компания"	28.04.17	нет	Динамическое разрушение массива в почве выработки, с последующим интенсивным пучением и газовыделением в Вентиляционной сбойке 3-1-3.	Бурение разгрузочных скважин производилось через 14м подвигания забоя вместо 12м. Не выдержана ширина выработки вместо 7м, по факту 7,5м. Не организована приемка выполненных работ по бурению скважин. Нарушение технологии проведения выработки, в части увеличения взятия заходки при выемке угля из забоя до 1м вместо 0,5м.
2	ООО "ОЭУ "Блок №2 шахта "Анжерская-Южная"	24.07.17	1 см	Внезапный выброс угля и газа в конвейерном штреке 7-1-5 пл. XXVII. Датчики контроля газа метана зафиксировали 63,79%.	Не осуществлялось бурение веера опережающих разгрузочных скважин в количестве 10 скважин с максимальной длиной согласно паспорту до 20м через каждые 4м подвигания забоя. Применение неисправных средств измерения.
3	ООО "Шахта им.С.Д. Тихова"	08.02.19	1 см 2 тяж	В лаве 23-1-4 в районе секции крепи 102 произошел вывал угля с повышенным выделением газа метана.	Низкая эффективность предварительной пластовой дегазации в зоне влияния геологического нарушения в месте произошедшего группового несчастного случая. Отсутствие разгрузочных скважин в месте возникновения ГДЯ, вследствие неэффективного прогноза.

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Место происшествия	Дата н/с	Кол-во травм.	Вид происшествия	Причина происшествия
4	Филиал "Шахта "Ерунаковская-VIII" АО "ОУК "Южкузбассуголь"	15.08.20	2 см 1 тяж 1 лег	Пучение почвы выработки на вентиляционном штреке 48-7 лавы 48-7.	Зависание пород основной кровли в выработанном пространстве лавы 48-6. Влияние остаточного опорного давления от незавершившихся процессов сдвижения в контуре лавы 48-6. Склонность пород почвы пластов 48 и 45 к пучению.
5	Шахта "Чертинская-Коксовая" ООО"ММК-УГОЛЬ"	14.09.20	2 см	Внезапный выброс угля и газа в осевом штреке 553.	Невыполнение "Комплекса мер по борьбе с динамическими явлениями на шахте "Чертинская-Коксовая" на 2020 год" в части проведения осевого штрека 553 без прогноза выбросоопасности(подвигание забоя после последнего прогноза 11.09.2020г. составило 7,6м вместо допустимых 4м).
6	ООО "Шахта им.С.Д. Тихова"	22.01.21	3 см	Внезапный выброс угля и газа при отбойке горной массы в забое конвейерного штрека 23-1-6 (от наклонных стволов).	Невыполнение "Комплекса мер по прогнозу и предотвращению ДЯ на 2021год", в части перехода на сотрясательное взрывание и применения поддерживающего типа крепи. Нарушения основных требований при проведении противывбросных мероприятий, в части установленных параметров прогнозных шпуров и разгрузочных скважин(длина прогнозных шпуров была менее 5,5м, а разгрузочных скважин менее 10м).
7	ООО "Шахта "Юбилейная"	14.02.21	1 см	Внезапное выдавливание угля в объеме 25,4 м ³ 1360 м ³ газа на локальном участке при работе проходческого комбайна EBZ-200 в забое конвейерного штрека 16-24бис.	Отсутствие контроля за напряженным состоянием массива угля в забое. Недостаточная разгрузка массива в зоне непрогнозируемого внутрислоевого геологического нарушения
8	АО "Распадская-Коксовая" ООО "Распадская угольная компания"	13.03.21	1 тяж	Пучение почвы вентиляционного штрека 3-3-1бис на высоту до 0,5м на протяжении 35м от забоя лавы 3-3-1бис.	Причины происшествия расследуются.

Для проветривания монтажной и демонтажной камер, а также лавы в период ремонтных или профилактических работ отбуривается скважина большого диаметра (рисунок 3). После монтажа комплекса скважина перекрывается или оборудуется вакуумным насосом для откачивания метана, выделяющегося в ходе ведения очистных работ, в дегазационный став.

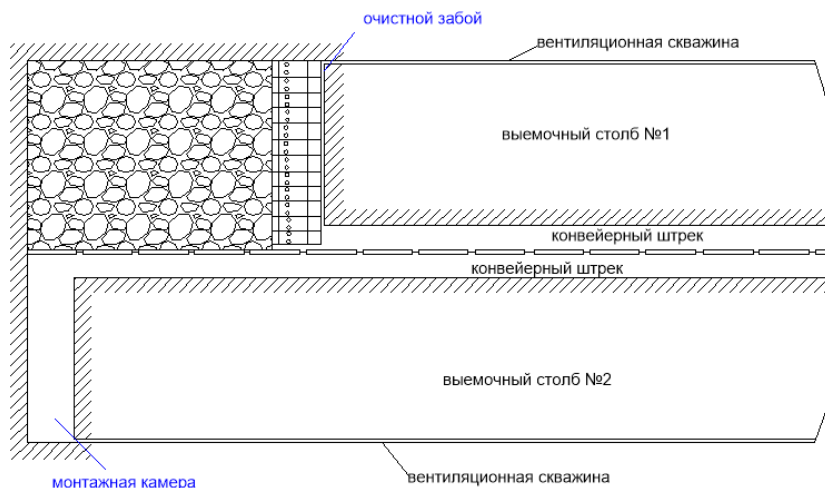


Рисунок 2 – Система разработки длинными столбами по простиранию с неполным оконтуриванием выемочного столба



Рисунок 3 – Сквжина большого сечения, пробуренная в очистном забое

Очистные работы рекомендуется проводить выемочным двухшнековым комбайном со сближенным расположением шнеков (рисунок 4). Управление комбайном осуществляется машинистом, находящимся вне зоны очистных работ, с пульта, связанного с комбайном длинным кабелем [5]. Контроль за процессом выемки осуществляется по камерам, установленным на секциях механизированной крепи. Изображение с камер выводится на монитор в пункте управления, также возможна трансляция изображения на устройства, используемые инженерно-техническим составом предприятия.

По оптимизированной технологической схеме комбайн производит одностороннюю выемку угля из очистного забоя движением от конвейерного штрека в сторону тупика очистной выработки [7].

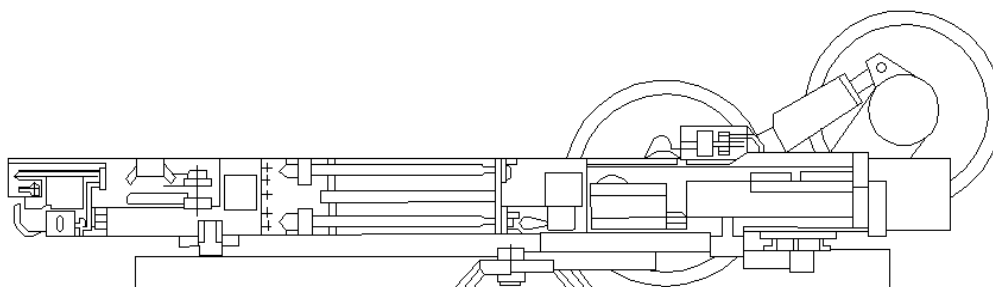


Рисунок 4 – Комбайн со сближенным расположением шнеков

В тупике очистной выработки производится опускание верхнего шнека к почве пласта для завершения цикла выемки, отбойкой обратным ходом не разрушенной части целика, находящегося под ним (рисунок 5).

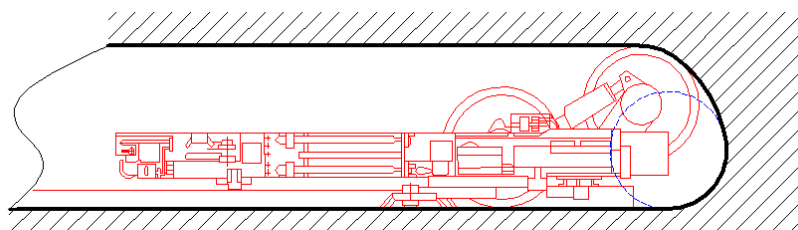


Рисунок 5 – Завершение цикла выемки в тупике очистного забоя

После окончания цикла выемки происходит возвращение комбайна в конвейерный штрек холостым ходом, после чего происходит подвигание скребкового конвейера и секций механизированной крепи к забою. Зарубка комбайна производится из конвейерного штрека, что сокращает цикл выемки исключением операций самозарубки.

Применение данной технологии ведения очистных работ повысит безопасность, позволит сократить время подготовки выемочного участка и снизить стоимость очистных работ за счет сокращения общей протяженности подготовительных выработок, а также за счет снижения затрат на проветривание очистного забоя и дегазацию [1,2,6].

Таким образом, данная технология безлюдной выемки позволит отрабатывать запасы на угольных шахтах с высокой газоносностью углей, а также дорабатывать запасы, переведенные в забалансовые, в связи с высокой метанообильностью и угрожаемостью по динамическим явлениям.

Библиографический список

1. Управление газовыделением на выемочных участках шахты «Октябрьская» / А. М. Никитина, С. В. Риб, Д. М. Борзых // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 14-16 мая 2019 г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – Вып. 23. Ч. 4. Естественные и технические науки. – С. 100-103. – URL: <http://library.sibsiu.ru>.
2. Повышение эффективности дегазации путем увеличения газоотдачи угольного пласта / А.В. Найданова, С.В. Риб, А.М. Никитина // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13–15 мая 2014 г. Вып. 18. Ч. 2 : Технические науки / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. М. В. Темлянцева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2014. – С. 18–21.
3. Разработка технико-технологических решений по дегазации при ведении горно-подготовительных работ в условиях ОАО "Шахта "Есаульская" / С. А. Зазулин, А. М. Никитина, С. В. Риб, Д. М. Борзых // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 14-16 мая 2019 г. - Новокуз-

нецк: Издательский центр СибГИУ, 2019. - Вып. 23. Ч. 7. Технические науки. - С. 236-241.

4. Способ безлюдной выемки полезных ископаемых: [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-bezlyudnoy-vyemki-poleznyh-iskopaemyh>

5. Нинхаус К. Автоматика и связь очистного комбайна -путь к автономному оборудованию // Коул Интернэшнл. 2010. № 4. С. 22-25.

6. Клебанов Д.А. Применение технологий высокоточной спутниковой навигации в горнодобывающей отрасли / Д.А. Клебанов, М.А. Макеев // Недропользование XXI-2010-№5-С. 34-36.

7. Автоматизация технологических процессов горного производства: учеб.Пособие/ Р.А. Сажин. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009.

УДК 622.232.54:615.681.51

БЕЗЛЮДНОЕ ПРОВЕДЕНИЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

Альвинский Я.А., Григорьев А.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Волошин В.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: alvinskiy_yaa@mail.ru*

В данной статье описывается принцип проведения проходческих работ с использованием автоматизированных систем без непосредственного присутствия человека в горной выработке.

Ключевые слова: горная выработка, безлюдное проведение горной выработки, Кузбасс, дегазация, автоматическое управление, гидротранспорт, крепление забоя, шахта.

В месторождениях Кузбасса угольные пласты, залегающие в благоприятных условиях, встречаются крайне редко. Угольные месторождения представлены свитами сближенных пластов различной мощности, которые находятся в сложных горно-геологических условиях, шахтные поля разбиты геологическими нарушениями различной амплитуды и видов.

На предприятии ООО РУК «Шахта «Осинниковская» к отработке принято 4 угольных пласта: «Елбанский-7», «Елбанский-6», «Елбанский-5», «Елбанский-4». Из четырех принятых к отработке угольных пластов в работе находится один — «Елбанский-5», средней мощностью 3,5м. Горные работы ведутся на глубине около 700м, повышенное горное давление, угол падения варьируется от 15 до 60°, склонность к динамическим явлениям, а также высокая метанообильность до 25 м³/т угля. Сложное строение массива и сложность отработки запасов вынуждает, перевести в забалансовые запасы свыше 1,5 млн. тонн угля.

Проведение подготовительных горных выработок осуществляется ме-

ханическим комбайном, транспортировка горной массы из забоя производится при помощи ленточных конвейеров. Обслуживание и наростка ленточного конвейера дорогой и трудоемкий процесс, требующий постоянного присутствия горнорабочих в тупиковой выработке, следовательно, проведение подготовительных горных выработок требует большого количества проходчиков и горнорабочих, в силу крепления выработки, обслуживания комбайна и обслуживания конвейера [1].

Проведение горной выработки сопровождается присутствием человека в тупиковом забое, что в свою очередь является опасным фактором в силу сложности проветривания, склонности к динамическим явлениям [2,3].

Для снижения воздействия опасных факторов предлагается осуществление безлюдного проведения подготовительных горных выработок с предварительной разгрузкой и дегазацией массива по ходу движения забоя [2]. Отбойка горной массы осуществляется механо-гидравлическим комбайном, а ее транспортировка осуществляется с помощью гидротранспорта.

Технология основана на проведении подготовительных горных выработок принятой площади поперечного сечения или малого сечения с последующим ее расширением до необходимого размера. Крепление выработок осуществляется с помощью винтовых анкеров с шайбами, установленным на комбайне анкероустановщиком, что позволяет снизить время проходческого цикла, и увеличить темпы проведения выработок [3].

Проведение выработок осуществляется дистанционно механо-гидравлическим комбайном по типу КСП22МГ (рисунок 1). Комбайн способен осуществлять механо-гидравлическую выемку и транспортирование отбитой горной массы сравнительно недорогим гидротранспортом по желобам без использования ленточного или скребкового конвейера, что существенно снижает затраты на закупку, ремонт и обслуживание конвейерного транспорта.

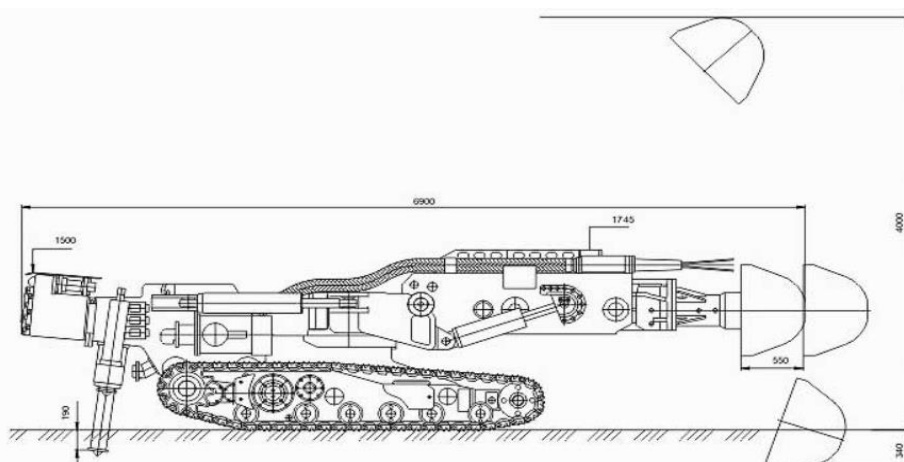


Рисунок 1 – Общий вид и размеры комбайна КСП22МГ

Предварительная разгрузка и дегазация массива производится двумя скважинами направленного бурения диаметром 500мм, проведенными в почве выработки, и некоторого количества скважинам малого диаметра,

пробуренных в направлении движения забоя для большей эффективности процесса (рисунок 2). Проветривание проходческого забоя осуществляется за счет общешахтной депрессии по опережающим разгрузочным скважинам [4]. Вокруг скважин возникает собственная область концентрации напряжений, которая вносит изменения в зону повышенных напряжений впереди подготовительной выработки, что приводит к перемещению зоны повышенного горного давления вглубь угольного массива. Эффективность защитного действия скважин зависит от размера создаваемой ими зоны предельного состояния.

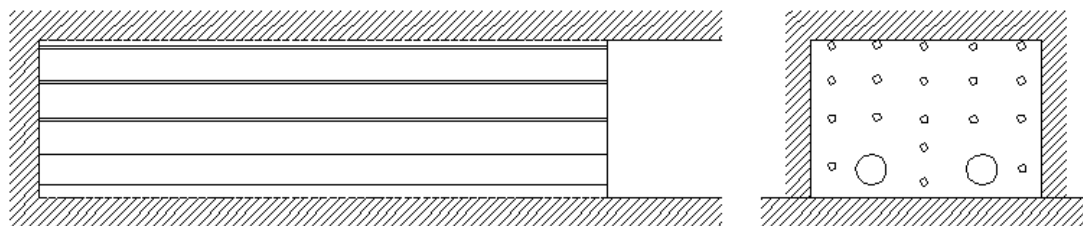


Рисунок 2 – Схема бурения длинных опережающих разгрузочно-дегазационных скважин

Горная масса транспортируется гидротранспортом от места разрушения до пункта обезвоживания, где происходит отделение угля от воды. Вода поступает в систему водосборников с системой фильтров с целью отделения абразивных частиц, а далее насосами по трубопроводам возвращается к комбайну или гидроагрегату (рисунок 3).

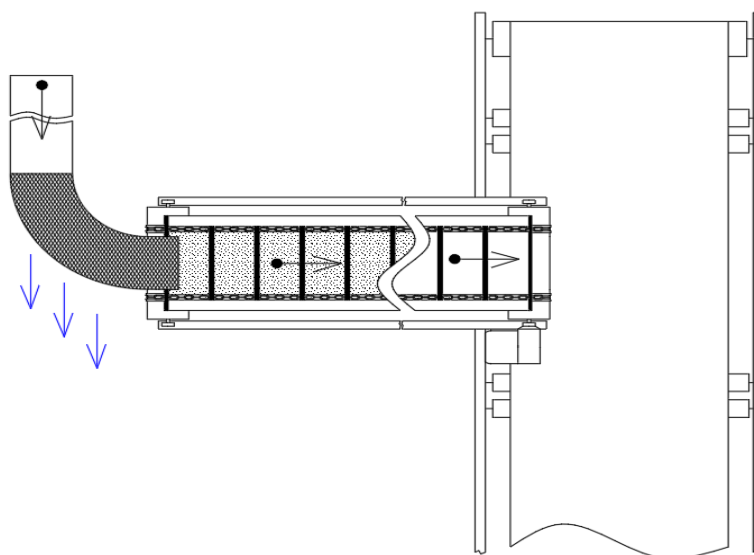


Рисунок 3 – Транспортировка угля средствами шахтного транспорта

После пункта обезвоживания горная масса поступает на скребковый перегружателем с системой перфорации, а далее выдаётся на поверхность средствами шахтного транспорта. Такая технология в большинстве случаев позволяет получать из шахты уголь с пониженной зольностью.

Представленная технологическая схема подготовки выемочных участ-

ков способствует повышению безопасности подготовительных работ за счет исключения присутствия рабочего персонала в зоне работы механизмов, что позволит облегчить проветривание тупикового забоя, разгрузку массива и дегазацию забоя. Технология позволит производить работы без присутствия людей в забое, что снижает опасного воздействия горных ударов, внезапных выбросов угля и газа в забое. Представленная технологическая схема проведения выработок позволит уменьшить затраты на транспортирование горной массы, за счет исключения ленточных или скребковых конвейеров и необходимости их ремонта и обслуживания.

Библиографический список

1. Обоснование необходимости разработки новой технологии строительства подземных выработок / В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, А.В. Адамков, А.Н. Ермаков // Вестник КузГТУ. — 2015. — №4. — с. 21-25.

2. Увеличение темпов проведения подготовительных выработок на высокогазоносных угольных пластах // Салманова Е.А., Никитина А.М., Риб С.В. / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией М.В. Темлянцева. 2020. С. 58-62.

3. Садыков С.Р. Исследование существующих и разработка новых способов и средств прогноза и предотвращения внезапных выбросов угля и газа при проведении подготовительных выработок / С.Р. Садыков, А.М. Никитина, С.В. Риб // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13-15 мая 2014 г. Вып. 18. Ч. 2 : Технические науки / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. М. В. Темлянцева. - Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2014. - С. 21-23.

4. Николаев П. И. Методика обоснования подземных роботизированных геотехнологий без постоянного присутствия людей в забоях / П. И. Николаев, В. В. Зиновьев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – №4 (116). – с. 26—33.

5. Малышев Ю.Н. Новые технологические решения и технические решения подземной угледобычи / Ю.Н. Малышев, О.В. Михеев – М.:МГГУ, 2004. – с. 250.

6. Маметьев Л.Е., Хорешок А.А., Цехин А.М., Борисов А.Ю. Повышение эффективности бурения дегазационных скважин и транспортирования разрушенного угля // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018. – № 1. – с. 106–112.

ПРИМЕНЕНИЕ БЕЗЛЮДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ

Альвинский Я.А., Григорьев А.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Волошин В.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: alvinskiy_yaa@mail.ru*

В данной статье проведен анализ горно-геологических условий на горнодобывающем предприятии ООО «Шахта «Осинниковская», а также приведено техническое решение проблемы доработки запасов шахтного поля, внедрение безлюдной технологии.

Ключевые слова: шахта, безлюдная технология, инертная среда, гидро-транспорт, сложные горно-геологические условия, механизированный комплекс, камерно-столбовая система разработки, проветривание.

Большинство запасов шахтных полей Кузбасса находятся в сложных горно-геологических условиях. Угол падения, геологические нарушения, метанообильность угля создает сложность при отработке длинными очистными забоями, и часто большая часть балансовых запасов списывается в забалансовые в связи со сложностями отработки или отсутствия технологии.

На ООО «Шахта «Осинниковская» к отработке принят пласт Е5. Горные работы ведутся на глубине свыше 700м, преобладает повышенное горное давление, угол падения варьируется от 15 до 30°, пласт имеет склонность к динамическим явлениям. Высокая метанообильность до 25 м³ на тонну угля вынуждает, перевести в забалансовые запасы более 1 800 тыс. тонн угля. В связи с наличием повышенного горного давления и разрывных нарушений при отработке длинными очистными забоями остаются целики увеличенного размера [1-3]. Все это приводит к большим общешахтным потерям до 50%.

Классическим решением для уменьшения потерь применяют доработку целиков камерно-столбовой системой разработки, которая основана на выемке угля проходческо-добычным комбайном. Технология создает высокие нагрузки на очистной участок вводом в эксплуатацию нескольких очистных забоев. Для эффективной работы технологии требуется несколько высокопроизводительных проходческо-добычных комбайнов, транспортировка горной массы осуществляется самоходными вагонами, сложная схема горных выработок, создает трудности проветривания. Применение данной технологии имеет ряд недостатков, главным из которых является ограничение применения технологии глубиной до 450м, что делает ее применение невозможным [4].

Альтернативным решения данной проблемы предлагается усовершенствование уже принятой технологии отработки, сокращением длины очистного забоя и создания на его основе безлюдной технологии, организацией работ в инертной среде в заперемыченном пространстве с автономным чис-

ловым программным управлением механизированным комплексом или же управлением оператором находящимся за пределами зоны ведения горных работ (рисунок 1) [5].

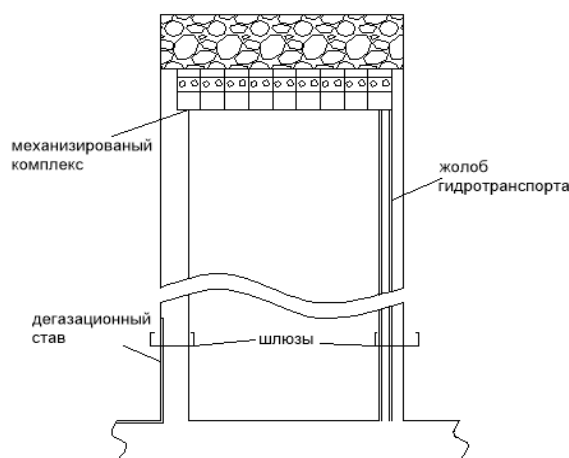


Рисунок 1 - Принципиальная технологическая схема безлюдного очистного забоя с механизированным комплексом

Для доработки запасов переведенных в забалансовые, предлагается введение «короткозабойных» выемочных участков с применением механизированных комплексов аналогичных уже используемым на предприятии с внедрением безнапорного гидротранспорта на замену ленточным конвейерам. Сокращение ширины выемочного столба до 50-100 метров, при возможности оставить его длину до 1000 метров позволит снизить влияние на горные работы гипсометрии пласта, распределения напряжений по лаве, позволит более детально обработать запасы вблизи геологических нарушений. В сочетании с безлюдной технологией повысит безопасность горных работ и снизит их стоимость, за счет сокращения затрат на проветривание очистного забоя [6].

Оконтуривание выемочного столба производится выработками минимального сечения, необходимого для доставки механизированного комплекса в монтажную камеру, что снижает затраты на проведение подготовительных выработок. Отсутствует необходимость в опережающей дегазации выемочного забоя, так как работы проводятся в инертной среде при отсутствии человека. Откачивание метана производится вакуумным насосом в дегазационный став перед разгазированием выработки для ремонта или перемонтажа комплекса [7].

Применение гидротранспорта снизит потребность в постоянном контроле и обслуживании безлюдных лав и уменьшит стоимость механизации очистного забоя за счет исключения из схемы транспорта некоторых участков ленточного конвейера. Технология безнапорного гидротранспорта позволит снизить запыленность в выработках, исключит из цепочки большое количество механических средств транспортирования горной массы, таких как перегружатели, телескопические ленточные конвейеры [8].

Применение в технологии механизированного комплекса позволяет достичь высоких показателей, обеспечит бесперебойную работу выемочного участка. В зависимости от ширины выемочного столба при среднесуточной добычи в 5 тыс. тонн продвижение очистного забоя будет варьироваться от 10 до 25 метров в сутки.

Применение данной технологии позволит отработать запасы шахтного поля, находящиеся в сложных горно-геологических условиях, вблизи геологических нарушений и зонах повышенного горного давления. Отсутствие человека в очистном забое повысит безопасность ведения горных работ, снизит затраты на проветривание, дегазацию, транспортирование горной массы, а также уменьшит количество работ по обслуживанию конвейерного транспорта.

Библиографический список

1. Серяков В.М., Риб С.В., Фрянов В.Н. Напряженно-деформированное состояние угольного целика при переходе очистным механизированным комплексом зоны геологического нарушения//ФТПРПИ. -2017. -№ 6. -С. 32 -40.

2. Хомякова А.А., Риб С.В., Никитина А.М. Исследование влияния убывающего целика на напряженно-деформированное состояние пород почвы горной выработки / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. -Новокузнецк, 2014. -С. 5-8.

3. Переход очистным забоем зон геологических нарушений в условиях ООО "Шахта "Осинниковская" / А.А. Сухоруков, С.В. Риб, А.М. Никитина, Д.М. Борzych // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 14-16 мая 2019 г. - Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2019. - Вып. 23. Ч. 7. Технические науки. - С. 272-275.

4. Фрянов В.Н. Состояние и направления развития безопасной технологии подземной угледобычи / В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова – Новосибирск: Изд-во РАН. – 2009. – 238с.

5. Николаев П. И. Методика обоснования подземных роботизированных геотехнологий без постоянного присутствия людей в забоях / П. И. Николаев, В. В. Зиновьев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – №4 (116). – С. 26—33.

6. Малышев Ю.Н. Новые технологические решения и технические решения подземной угледобычи / Ю.Н. Малышев, О.В. Михеев – М.:МГГУ, 2004. – С. 250.

7. Обоснование необходимости разработки новой технологии строительства подземных выработок / В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, А.В. Адамков, А.Н. Ермаков // Вестник КузГТУ. — 2015. — №4. — С. 21-25

8. Маметьев Л.Е., Хорешок А.А., Цехин А.М., Борисов А.Ю. Повышение эффективности бурения дегазационных скважин и транспортирования разрушенного угля // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018. – № 1. – С. 106–112.

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

Елкина Д.И.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Никитина А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: yolkinadasha00@gmail.com*

В данной статье рассмотрены способы снижения и переработки выделяемых объемов парниковых газов от промышленных объектов. Предложен комплекс мер по повышению энергоэффективности предприятия.

Ключевые слова: рудник, CO₂, метан, солнечные батареи, конвейер, утилизация, улавливание.

Многие мегаполисы часто сталкиваются с таким явлением, как смог, однако в условиях многолетней мерзлоты эта проблема достигает огромных масштабов. Из-за больших выбросов парниковых газов, происходит сильное загрязнение окружающей среды. Для снижения и переработки выделяемых объемов парниковых газов необходимы мероприятия, которые не только уменьшат выбросы, но и повысят свою энергоэффективность.

Объектом исследования является Рудник «Интернациональный». Данный рудник является первым подземным рудником «Алроса», входит в состав Мирнинского ГОКа, находится в г. Мирный, Республика Саха. С 1999 г. функционирует на кимберлитовой трубке «Интернациональная», которая обладает очень высоким содержанием алмазов в руде. Как и все промышленные предприятия, рудник выбрасывает большое количество выбросов парниковых газов.

С целью снижения выбросов парниковых газов предлагается внедрить следующий комплекс мероприятий:

- использовать возобновляемые источники энергии в виде солнечных батарей;
- использовать крутонаклонный циклично-поточный транспорт (конвейер);
- систему улавливания газа CO₂ с помощью кимберлитовой руды в хвостохранилищах, а затем его дальнейшую переработку в синтетические виды топлива, необходимые предприятию;
- утилизировать полученный метан по системе трубопроводов, для его дальнейшего использования в котельных установках, с целью обогрева става ленточного конвейера в зимний период.

Экспериментально доказано, что солнечные батареи могут вполне эффективно работать в условиях вечной мерзлоты. Согласно статистическим погодным показателям за последние 5 лет, можно будет вырабатывать элек-

троэнергию в среднем 150 дней в год, а применение системы направленных зеркал даст прирост в производительности в 1,5 раза. Так возможно обеспечить электроэнергией предприятие на 41 % от обще годового потребления, а срок окупаемости составит 7-8 лет. Первый экономический эффект предприятие получит в 2029 году. Также, благодаря предлагаемому решению, предприятие сможет сократить долю выбросов парниковых газов в атмосферу на те же 41 % за счет того, что сможет обеспечивать этой долей энергии себя самостоятельно [1].

Проанализировав глубину разработки месторождения, можно сказать, что технологическая схема доставки грузов на предприятии устарела. Помимо загрязнения окружающей среды автомобильным транспортом с двигателями внутреннего сгорания, предприятие вместе с тем несет убытки, доставляя грузы с меньшей производительностью, но большими финансовыми затратами.

Предлагается использовать крутонаклонный конвейер с прижимной лентой, который полностью исключает выбросы парниковых газов, а вместе с этим увеличивает объем выдачи горной массы на поверхность (рисунок 1).

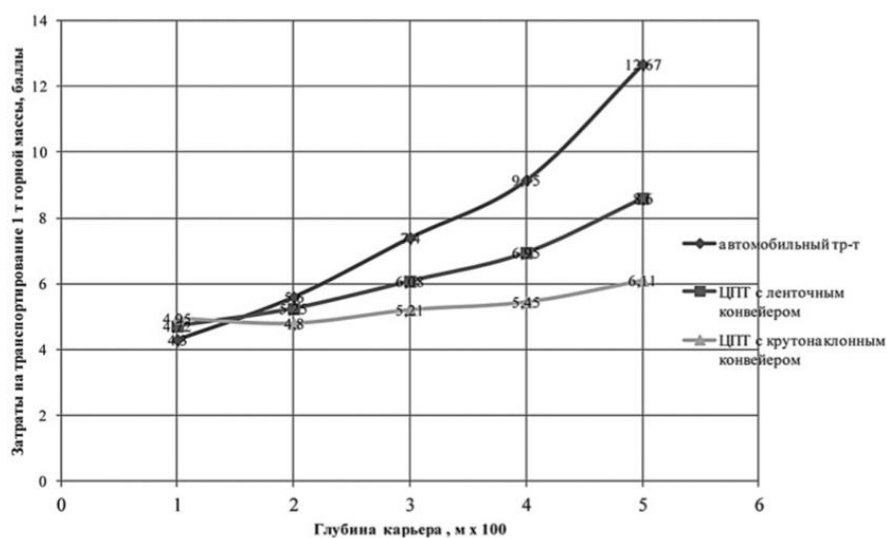


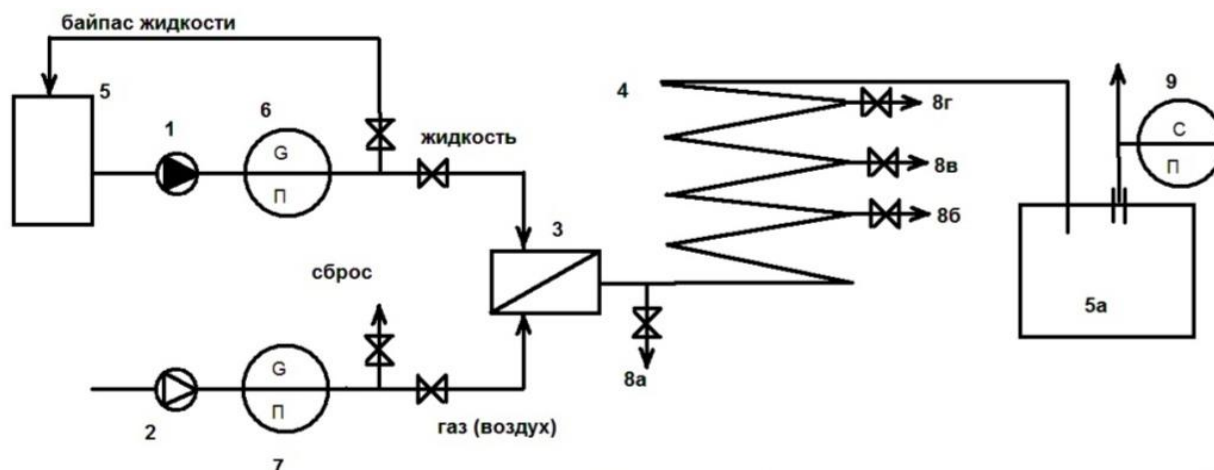
Рисунок 1 – Зависимость удельных затрат на транспортирование от глубины карьера при циклично-поточной технологии с ленточным конвейером и крутонаклонным конвейером с прижимной лентой [2]

Потенциал поглощения CO_2 из атмосферы может в несколько раз превышать выбросы углекислого газа всей Группы АЛРОСА. Так, по предварительным результатам проведенных исследований, поглощение CO_2 кимберлитом может составить до 80 кг на тонну перерабатываемого сырья, что почти в четыре раза больше средних ежегодных выбросов CO_2 от алмазодобывающего производства [3].

В работе предлагается способ улавливания углекислого газа щелочными растворами в трубчатой колонне [4]. Процесс растворения углекислого газа происходит с помощью щелочи $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Конечным продуктом химической реакции является CaCO_3 и H_2O . Достоинства данной установки в том,

что она позволяет улавливать и одновременно осуществлять транспортировку CaCO_3 , регулировать процесс абсорбции, изменяя давление и температуру жидкости и газа, а также работать при повышенных давлениях газа, что увеличивает интенсивность процесса.

Данный способ улавливания углекислого газа не несет дополнительных финансовых затрат, но имеет огромный потенциал для развития (рисунок 2).



1 – насос, 2 – компрессор, 3 – смеситель воздуха и раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$, 4 – трубчатая колонна, 5 и 5а – емкости исходного и конечного раствора, 6 – ротаметр жидкости, 7 – ротаметр газа, 8а – 8г – вентили для отбора проб, 9 – анализатор газа по CO_2

Рисунок 2 – Лабораторная установка с трубчатым абсорбционным элементом [5]

С целью дальнейшей утилизации газов, поглощенных кимберлитовой рудой, предлагается внедрить технологию переработки углекислого газа в синтетические виды топлива с помощью возобновляемых видов энергии (солнечных батарей) и воды. Применение данного способа позволит получать до 1000 литров синтетического топлива в день. Реакция происходит посредством электролиза, из воды получается водород и кислород. Кислород выпускается в атмосферу, а водород взаимодействует с углекислым газом при повышенной температуре в присутствии катализатора, и в результате получается метан. Данная технология будет очень ценной в данном районе, т.к. топливо из-за особенностей местности доставлять сложно и дорого. Полученное топливо можно будет использовать для обогрева, либо перерабатывать в дальнейшем в электроэнергию с помощью контейнерных теплоэлектростанций (в данный момент широко используются на угольных шахтах) [6,7].

Также предлагается организовать выдачу газа метана из забоя на поверхность по системе трубопроводов, и дальнейшую его переработку на поверхностном комплексе сооружений с целью сжигания в котельных установках и получения тепловой энергии, которая будет направлена на подогрев става ленточного конвейера в зимний период, см. рисунок 3.



Рисунок 3 – Технология утилизации метановых газов

Для возможности использования конвейера в зимний период, предлагается проложить теплотрассу под ставом конвейера, которая будет обогревать его с помощью полученной тепловой энергии от утилизации метановых газов.

Комплекс предложенных мероприятий позволит получить экономически положительный эффект сразу после их внедрения в технологическую цепочку предприятия, что, в свою очередь, позволит предприятию значительно снизить выбросы углекислого газа и эффективно использовать ресурсы, которые ранее не были задействованы.

Библиографический список

1. Наши солнечные батареи "следят" за солнцем [Электронный ресурс]// Коммерсантъ / Журнал "Огонёк", 2003. – Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/2209929>.
2. Галкин В.И. Обоснование областей эффективного применения специальных видов конвейеров на карьерах [Текст] // Научный вестник, 2014. – С. 400 – 410.
3. «Алроса» исследовала кимберлит на поглощение CO_2 // Вестник золотопромышленника [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://gold.1prime.ru/news/20210916/425331.html>.
4. Терпугов Д.Г. Исследование процессов улавливания углекислого газа щелочными растворами в трубчатой колонне / Д.Г. Терпугов, Н.И. Акинин, А.А. Монахов // Успехи в химии и химической технологии. №13. - 2017. – С. 81 – 83.
5. Сибирские ученые научились получать топливо из воды и воздуха [Электронный ресурс] // Интерфакс, 2017 – Режим доступа: <https://www.interfax.ru/russia/583493>.
6. Мазаник Е.В. Перспективные направления извлечения кондиционных метановоздушных смесей при дегазации угольных месторождений / Е.В. Мазаник, Е.М. Могилева, К.С. Коликов // Вестник Кузбасского государ-

ственного технического университета, no. 5 (123). - 2017. - С. 101-106.

7. Разработка рекомендаций по использованию шахтного метана в условиях угольных шахт // А.С. Лесных, А.М. Никитина, С.В. Риб / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Сибирский государственный индустриальный университет; под общественной редакцией М.В. Темлянцева. 2021. - С. 105-109.

УДК 622.62

РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОНОРЕЛЬСОВЫХ СИСТЕМ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ КУЗБАССА

Елкина Д.И., Моисеев А.К.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Никитина А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: yolkinadasha00@gmail.com*

В данной статье рассмотрен вопрос о замене существующих средств вспомогательного транспорта на более улучшенные монорельсовые системы, для которых будет меньше эксплуатационных затрат, которые смогут осуществлять транспортирование людей, доставку оборудования и материалов непосредственно от околоствольного двора шахты до мест ведения горных работ.

Ключевые слова: локомотив, монорельсовая подвесная дорога, вспомогательный транспорт, доставка людей.

В настоящее время применение монорельсового транспорта широко распространено на угольных шахтах Кузбасса – ведущего угольного бассейна России. Для достижения новых задач, стоящих перед угольными предприятиями, возникает необходимость постоянного совершенствования технологических процессов, в том числе работы вспомогательного транспорта.

Развитие и совершенствование монорельсовых систем в угольных шахтах может быть достигнуто за счет создания принципиально новых или доработки и усовершенствования уже существующих дизель-гидравлических локомотивов и навесного оборудования [1].

Так с 1999 г. на шахтах Кузбасса было начато техническое перевооружение вспомогательного транспорта. На замену высокоаварийным, с низкой пропускной способностью и уровнем безопасности подъемам устанавливалась подвесной дизель-гидравлический локомотив ДПЛ-80 с монорельсовой подвесной дорогой ДП-155 (рисунки 1 и 2) [2].

Локомотивы оснащены:

- автоматической регулировкой мощности гидростатической передачи;
- автоматической регулировкой мощности гидростатической передачи;

- двумя независимыми друг от друга системами торможения;
- эффективной защитой против шума;
- датчиками, контролирующими правильность работы;
- присоединенным устройством для подключения гидравлических подъемных устройств;
- взрывозащищенным оборудованием для работы во взрывоопасной среде.

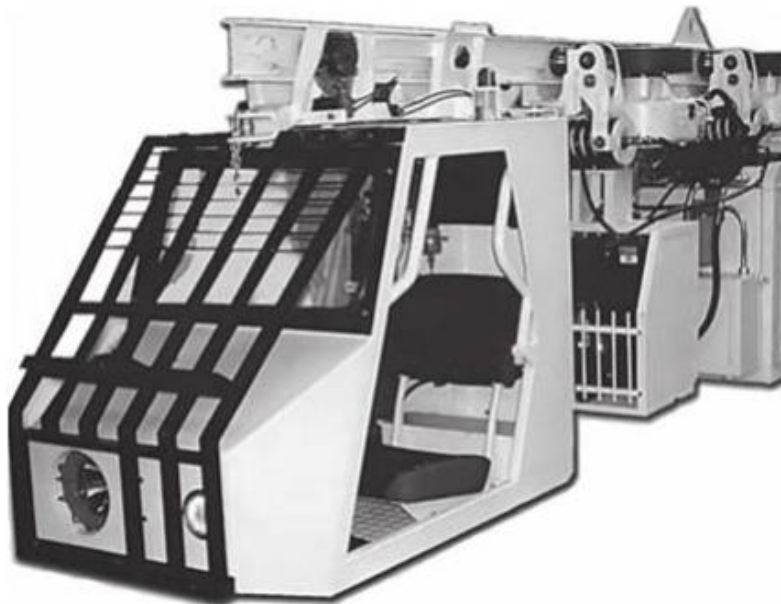


Рисунок 1 – Подвесной дизель-гидравлический локомотив ДПЛ-80 [2]



Рисунок 2 – Монорельсовая подвесная дорога ДП-155 [2]

Современные локомотивы имеют минимальные эксплуатационные затраты, т.к. расходы на электроэнергию гораздо ниже в сравнении с расходами на топливо, масла и фильтры при эксплуатации дизель-гидравлических локомотивов; бесшумность, т.к. более тихая работа электрических приводов, обеспечивает комфортную работу для машиниста локомотива и перевозимого персонала [3].

Принцип действия монорельсовых дорог основан на перемещении грузов по подвешенному к кровле выработки монорельсовому пути, выполненному из двутавровой балки. На рисунке 3 изображена схема монорельсового шахтного транспорта.

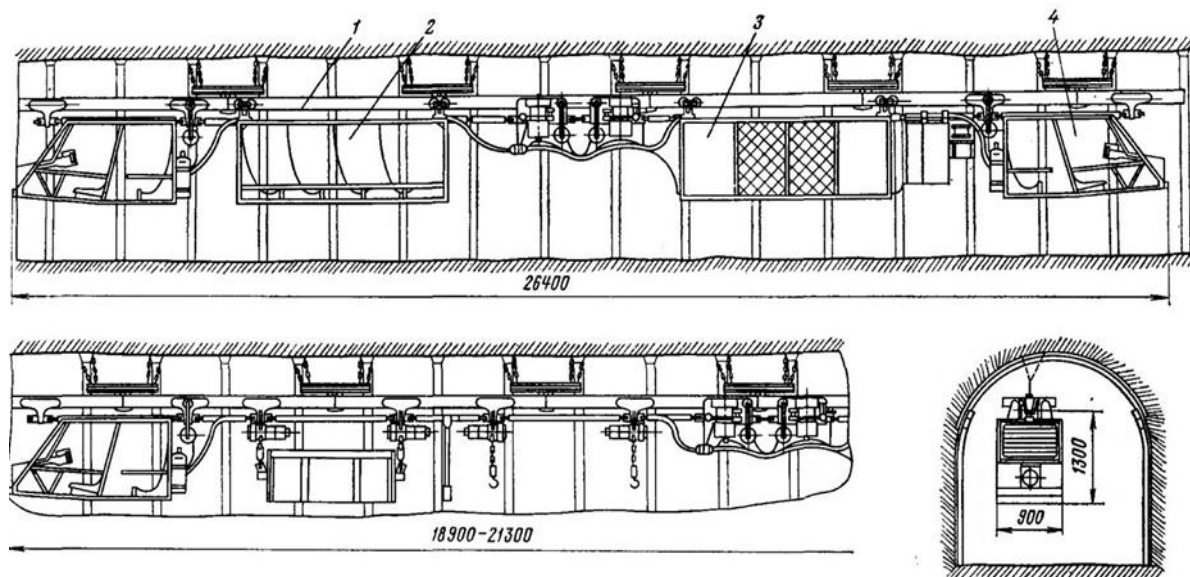


Рисунок 3 – Схема монорельсового шахтного транспорта [4]

Применение монорельсового транспорта позволяет осуществлять транспортирование людей, доставку оборудования и материалов непосредственно от околоствольного двора шахты до мест ведения горных работ по разветвлённой цепи горных выработок с относительно большой протяжённостью и углами наклона до $\pm 25^\circ$ и более, без промежуточных технологических операций, что в свою очередь, позволяет сократить количество внутришахтного транспорта, уменьшить количество звеньев в транспортной цепочке и общее технологическое время доставки людей и грузов, снизить численность обслуживающего персонала, повысить надёжность, эффективность и безопасность работ по доставке в целом [3].

В целях безопасности эксплуатацию подвесных монорельсовых дорог в условиях шахт Кузбасса рекомендуется осуществлять с использованием системы автоматизации и диспетчеризации транспортных процессов Becker Mining. Система мониторинга персонала и транспортных средств Becker Mining обеспечивает:

- автоматическое непрерывное определение и контроль местонахождения персонала в подземной части шахты;
- регистрацию этого местонахождения в базе данных;
- предупреждение водителя транспорта о появлении персонала в его рабочей зоне;
- регистрацию подземного транспорта через контрольные точки, (рисунок 4) [5,6].

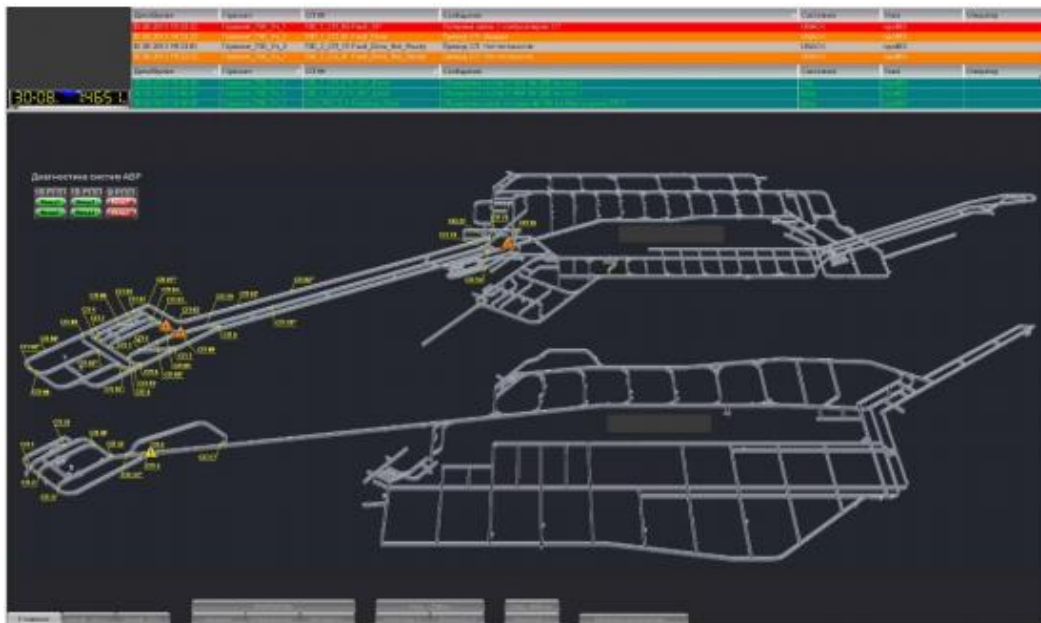


Рисунок 4 - Отображение информации

К достоинствам данного вида транспорта также можно отнести то, что он позволяет обеспечить доставку как людей, так и различных по габаритам и массе грузов одной дорогой с минимальным набором технических средств. [3].

Таким образом, благодаря оптимизации оборудования, монорельсовые дороги и подвесные аккумуляторные локомотивы могут существенно повысить эффективность вспомогательного транспорта.

При оснащении и модернизации транспортных систем в большей степени применяется зарубежное оборудование, так как оно имеет высокие технико-экономические показатели. Но в сложившихся международных условиях для нашей страны повышается актуальность импортозамещения. Недопустимым является факт монополизации и захвата рынка зарубежными технологиями и аналогами на местном рынке наукоемких производств Кузбасса.

Для промышленных предприятий России, особенно в условиях кризиса, рекомендуется все изделия монорельсовой дороги, включая аккумуляторный локомотив, производить Российскими заводами-изготовителями.

Библиографический список

1. Шишков Р.И. Современная практика транспортирования секций механизированных комплексов на угольных шахтах России / Шишков Р.И. : VIII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых с международным участием «Россия молодая», 19-22 апреля 2016 г. – Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева.

2. Транспортные машины и оборудование шахт и рудников // Монорельсовые дороги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ozlib.com/862147/tehnika/monorelsovye_dorogi.

3. Торро В.О. Исследование возможностей вспомогательного

транспорта в угольных шахтах / В.О. Торро, А.В. Ремезов, Р.Р. Зайнулин : Вестник НЦ ВостНИИ : ПРОБЛЕМЫ И СУЖДЕНИЯ, 2018 г. – Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. Вып. 3. – С.45-50.

4. МОНОРЕЛЬСОВЫЕ, МОНОКАНАТНЫЕ И НАПОЧВЕННЫЕ ДОРОГИ // Дорога монорельсовая 2ДМД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sinref.ru/000_uchebniki/01701gornoe_delo/004_spr_mashini_i_oborudovanie_dla_ugolnih_shaht_horin_1987/232.htm.

5. Разработка технологических решений по применению монорельсовых дорог на угольных шахтах // К.П. Казаринов, С.В. Риб / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 11-15 февраля 2019 г. / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. ред. М. В. Темлянцева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2019. - С. 58 - 62.

6. Разработка технико-технологических решений по внедрению новых технических средств и совершенствованию вспомогательного транспорта в условиях шахты "Осинниковская"/ Т.Ю. Шадэ, С.В. Риб, А.М. Никитина // Наука и молодёжь: проблемы, поиски, решения: тр. всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. - Новокузнецк, 2015. - С. 37-40.

УДК 622 : 681.3.07

ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБУЧАЮЩЕ-ТЕСТИРУЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНОЛОГИЯ ОТРАБОТКИ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ»

Лесных А.С., Моисеев А.К.

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Риб С.В.,
канд. техн. наук, доцент Володина А.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: aleksandralesnyh01081996@gmail.com*

В данной статье выполнена численная оценка традиционной тестирующей и предлагаемой обучающе-тестирующей программ с использованием критерия устойчивости. На основании оценки сформулированы замечания и предложены направления дальнейшего развития обучающе-тестирующей программы.

Ключевые слова: тестирование, обучающе-тестирующая программа, критерий устойчивости, дальнейшее развитие.

На кафедре геотехнологии ФГБОУ ВО «СибГИУ» накоплен значительный опыт использования как традиционных тестов, так и обучающе-тестирующей программы, разработанной сотрудниками кафедры [1]. Анализу накопленного опыта посвящен целый ряд статей [2-6], однако, до насто-

ящего времени для оценки не использовались критерии, широко распространенные в методологии педагогических измерений. В данной статье содержатся методология и основные результаты сравнительной оценки традиционных тестов и обучающе-тестирующей программы по критерию устойчивости. Оценка тестов осуществлялась традиционно путем деления вопросов на четные и нечетные с последующим суммированием оценок по формуле:

$$K = \frac{N \sum x_i y_i - \sum x_i y_i}{\sqrt{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{N \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}}$$

где x_i - индивидуальный балл по четным заданиям теста;
 y_i - индивидуальный балл по нечетным заданиям теста;
 N - число обучающихся.

Для обучающе-тестирующей программы был разработан специальный алгоритм, где в качестве четных и нечетных оценок выступали значения $1,25 - err_i$, где err_i - величина «штрафных» баллов при выборе тех или иных параметров технологической схемы очистного участка (ТСУ). В качестве базовых элементов приняты параметры (рисунок) процессов очистных работ, очистного оборудования, системы разработки и ТСУ в целом (проветривание участка, участковый транспорт и т.д.).

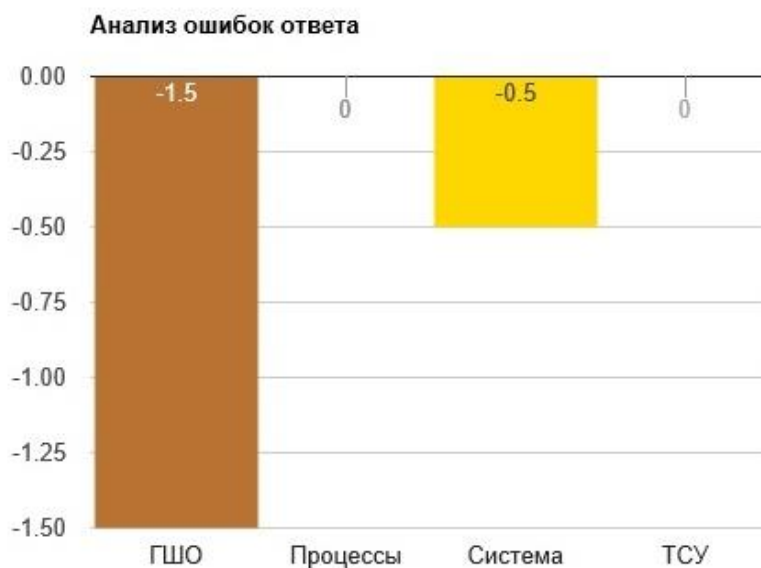


Рисунок 1 – Гистограмма анализа ошибок ответа

По результатам оценки выборки в 18 человек были получены следующие значения K :

- для обучающе-тестирующей программы $K = 0,36$;
- для традиционного теста $K = 0,31$.

Одной из наиболее значимых проблем при использовании обучающе-тестирующей программы является неравномерность оценок тестируемых вследствие различий в исходных данных. Исходя из этого, основным направлением развития обучающе-тестирующей программы можно считать

разработку алгоритма формирования исходных данных равномерной сложности для большого (20 и более человек) числа одновременно тестируемых обучающихся.

Кроме того по итогам анализа выявлены менее значимые замечания:

- требуется более детальная система фиксации результатов ответа по выбору отдельных элементов ТСУ и параметров технологического процесса (по 6-8 показателям);

- обучающиеся не обращают должного внимания на параметры расчета коэффициента машинного времени, что ведет к снижению нагрузки на забой и начислению дополнительных «штрафных» баллов за выбор технологии выемки и горношахтного оборудования (чаще всего при выборе между очистным комбайном и струговой установкой);

- обучающиеся недостаточно эффективно используют результаты промежуточных расчетов и сообщений об ошибках, что ведет к снижению общей оценки и росту неравномерности оценок по отдельным категориям оценивания;

- обучающиеся не используют опцию самостоятельного ввода данных по техническим характеристикам очистных комбайнов, а выбор из раскрывающегося списка весьма ограничен.

Библиографический список

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021613518 «Подземная отработка пологих пластов», автор Домрачев А.Н., правообладатель Домрачев А.Н., дата государственной регистрации 10 марта 2021 г.

2. Домрачев А.Н. Разработка междисциплинарных компьютерных лабораторных работ как основа массового внедрения обучающе-тестирующих систем по направлению подготовки 21.05.04 «Горное дело» / А.Н. Домрачев, С.В. Риб // Вестник Сибирского государственного индустриального университета №3(25) / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. редакцией Е.В.Протопопова, М.В.Темлянцева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2018. -№3(25) - С.18-21.

3. Говорухин Ю.М. Разработка и внедрение в учебный процесс системы поддержки принятия решений при разработке технологической схемы очистного участка/ Ю.М. Говорухин, А.Н. Домрачев. - Известия Тульского государственного университета. – Тула: Издательство ТулГУ, 2018. - выпуск 1 - С.159-165.

4. Домрачев А.Н. Совершенствование критерия оценки компьютерных лабораторных работ по курсу «Технология отработки пологих пластов» специальности 21.05.04 «Горное дело» / А.Н. Домрачев, С.В. Риб // Вестник Сибирского государственного индустриального университета №4 (26) / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. редакцией Е.В. Протопопова, М.В.Темлянцева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2018. - №4(26). - С.63-65.

5. Использование нейросетевого моделирования для повышения эф-

фektivности функционирования обучающе-тестирующего комплекса / А.Н. Домрачев, С.В. Риб // Вестник Сибирского государственного индустриального университета / 2020. - № 4 (34). - С. 44-46.

6. Басов В.В. К вопросу о разработке методического обеспечения интерактивного компонента курса «Технология отработки пологих пластов» / В.В. Басов, С.В. Риб, А.Н. Домрачев // Наука и молодёжь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. ред. М.В. Темлянцева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. - Вып. 19. - Ч. II. Технические науки. - С.23-26.

УДК 622.273

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ И БЕЗОПАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ МЕЖШТРЕКОВЫХ ЦЕЛИКОВ

Лесных А.С., Моисеев А.К.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Риб С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: aleksandralesnyh01081996@gmail.com*

В данной статье рассматриваются возможности эффективной и безопасной отработки межштрековых целиков с использованием различных технологий. Для выбора оптимальной технологии использован метод экспертных оценок. Установлена возможность эффективной и безопасной отработки этих целиков с использованием бурошнековой выемки.

Ключевые слова: короткие забои, бурошнековая выемка, экспертный метод, отработка целиков.

В настоящее время широкое распространение получила подготовка выемочных полей спаренными штреками с последующим оставлением угольных целиков или их отработкой с частичным сохранением (повторным проведением) вентиляционного просека (рисунок 1).

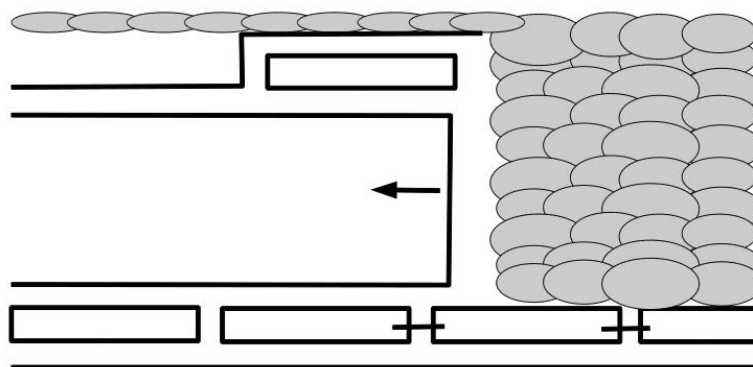


Рисунок 1 – Подготовка спаренными штреками

При такой отработке выработка располагается в очистном забое с образованием сопряжения и сопряжения с частично сохраненной выемочной выработкой вышележащего столба, что существенно снижает коэффициент машинного времени комбайна и нагрузку на очистной забой.

В качестве альтернатив отработке с частичным сохранением вентиляционного штрека предыдущего столба могут быть рассмотрены:

- отработка с использованием элементов коротколавной технологии или длиннокамерной адаптивной системы (ДКАС), в том числе с автоматизированным управлением [1; 5];

- отработка по камерной или камерно-столбовой системам с короткими забоями в традиционном варианте или с использованием самоходных механизированных крепей (КЗ) [2-4];

- выемка с использованием бурошнековых установок (БШУ), показанной на рисунке 2.

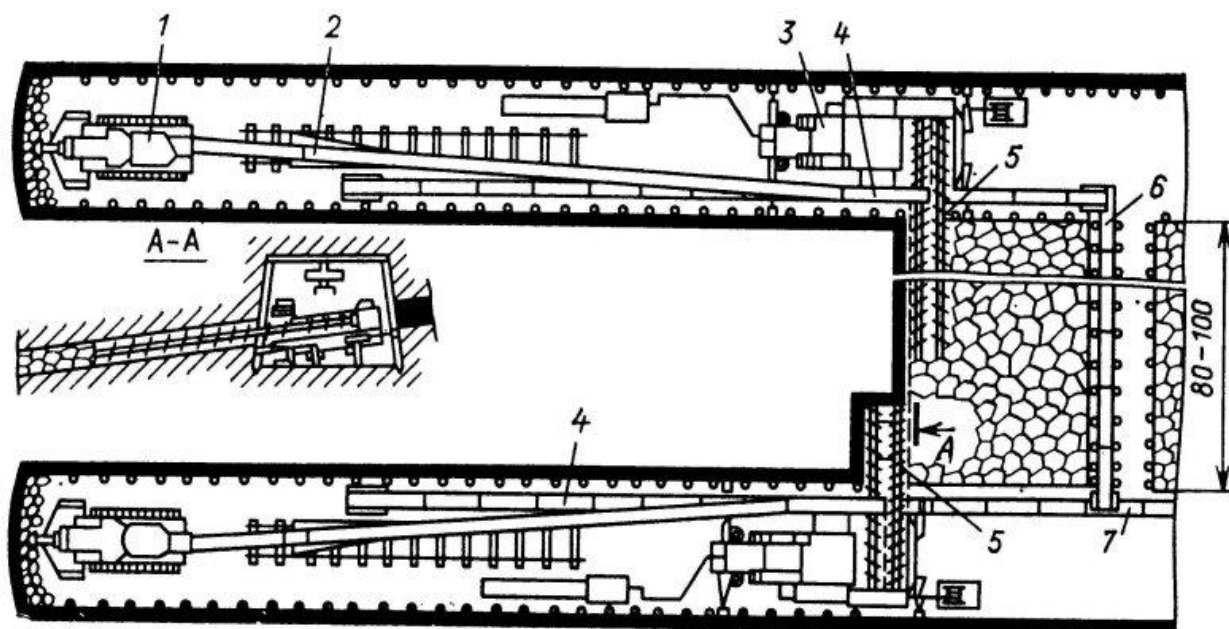


Рисунок 2 – Бурошнековая выемка угля

Для выбора рационального варианта могут быть использованы следующие критерии:

I - величина ожидаемых потерь угля, %;

II - производительность по выемке угля (на участок);

III - комплексный показатель безопасности (прежде всего по наличию работников в потенциально опасных по травмированию зонах (очистной забой, сопряжения, выработки закрепленные временной крепью, зоны повышенного горного давления и др.);

IV - показатель капитальных затрат (инвестиции);

V - показатель эксплуатационных затрат (себестоимость).

В таблице 1 приведены результаты ранжирования рассмотренных выше технологий по критериям I-V.

Таблица 1- Ранжирование технологий отработки целиков

<i>Вариант технологии</i>	<i>Ранги по критериям</i>				
	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>
Коротколавные технологии или длиннокамерная адаптивная система	1	1	2	3	3
Системы с короткими забоями	2	2	3	2	2
С использованием бурошнековых установок	3	3	1	1	1

Обработка результатов ранжирования выполнена методом попарного сравнения с использованием следующей шкалы: равенство рангов – «0», превосходство в 1 ранг – «+1», в два ранга – «+2», отставание в 1 ранг – «-1», в два ранга – «-2».

В результате получено следующее: бурошневая выемка и отработка по коротколавым технологиям получили 1 и 2 места, отработка короткими забоями – 3-е место.

Таким образом, отработка с использованием бурошнековых установок может рассматриваться как перспективное техническое решение по отработке межштрековых целиков при подготовке выемочных полей спаренными штреками.

Библиографический список

1. Жетесова Г.С. Моделирование камерной выемки с уступной формой забоя / Г.С. Жетесова, К.М. Бейсембаев, Ж.Н. Нокина, Ж.Т. Акижанова, Д.К. Асмагамбет // Уголь, 2021. - №1. - С.14-20.

2. Домрачев А.Н. Предложения по оценке эффективности использования самоходных механизированных крепей при отработке по системам с короткими очистными забоями / А.Н. Домрачев // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов : сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк : СибГИУ, 2020. - С. 162-165.

3. Домрачев А.Н. Особенности оценивания технических решений по отработке запасов короткими забоями / А.Н. Домрачев, С.В. Риб. // Вестник Сибирского государственного индустриального университета / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. редакцией Е.В.Протопопова, М.В.Темлянцева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2019. - №4(30). - С.21-24.

4. Домрачев А.Н. Расчет напряжений в подзавальных целиках при камерно-столбовой системе разработки / А.Н. Домрачев, Ю.М. Говорухин, С.В. Риб. // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов : сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк : СибГИУ, 2016. - С.154-156.

5. Домрачев А.Н. Моделирование работы коротких забоев в качестве элемента комбинированной технологии обработки пологих пластов / А.Н. Домрачев // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов : сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк : СибГИУ, 2016. - С.156-159.

УДК 622 : 681.3.07

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лесных А.С.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Риб С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: aleksandralesnyh01081996@gmail.com*

В данной статье рассматривается возможность использования современных программных комплексов для выполнения лабораторных работ по геомеханике и другим специальным дисциплинам специальности 21.05.04 «Горное дело». По мнению авторов, это позволит повысить эффективность и снизить трудоемкость выполнения лабораторных работ.

Ключевые слова: геомеханика, программный комплекс, лабораторные работы, эффективность обучения.

Проведение лабораторных работ по ряду специальных дисциплин: геомеханика, управление состоянием массива горных пород, моделирование динамических процессов и др., при обучении по специальности 21.05.04 «Горное дело» является достаточно непростой задачей, так как требует сложного оборудования и специфичного методического обеспечения. Кроме того, физический опыт ограничен как во времени, так и по реализуемым возможностям (пример, сжатие образца при испытании на прочность скорее всего будет только одноосным и т.д).

При изучении некоторых дисциплин был реализован подход, в рамках которого действия обучаемого по выбору оптимальных решений [1-4] оценивались специальной программой, однако, данный подход не является компьютерной симуляцией производства в чистом виде. Большие возможности предоставляются с использованием специальных программ моделирования прочностных свойств объектов, такие, как Aurora Z88 [4,5].

На рисунке 1 представлены результаты моделирования сложно нагруженного стального образца треугольной формы, закрепленного в основании.

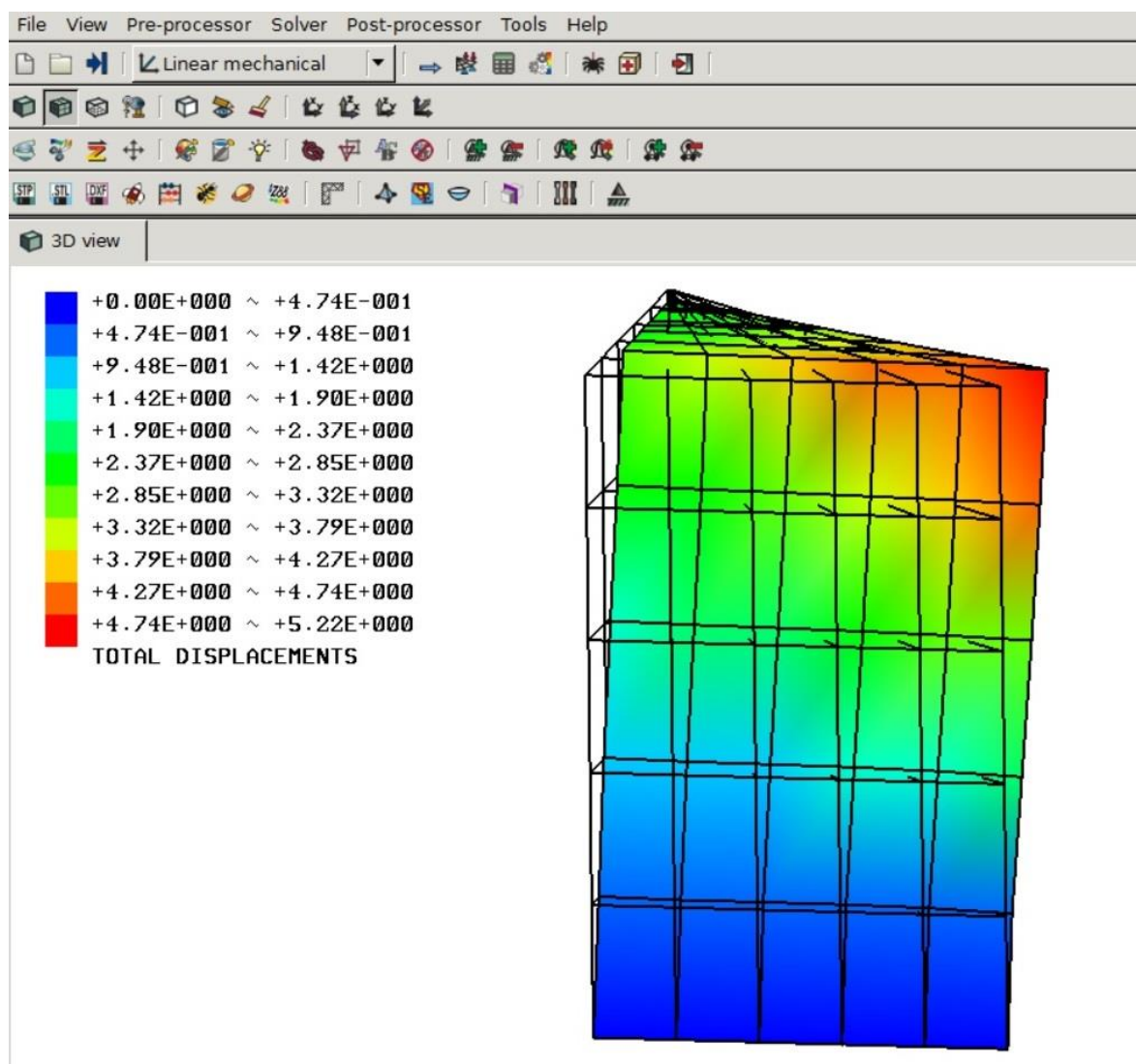


Рисунок 1 –Сложно нагруженный стальной образец треугольной формы

Выбор материала не имеет принципиального значения, так как программа содержит обширную базу свойств материалов, а также допускает возможность конструирования пользовательских образцов (рисунок 2).

Таким образом, использование данной программы для проведения лабораторных работ позволяет:

- снять целый ряд ограничений на форму и размеры нагружаемых образцов;
- использовать материалы в самом широком диапазоне их свойств, а также самостоятельно конструировать материалы или образцы с заданными свойствами;
- создавать на основе программы различные макеты и даже несложные стенды, максимально имитирующие работу реальных объектов и устройств;
- существенно снизить затраты времени на подготовку и проведение лабораторных работ, а также повысить их наглядность и безопасность;
- развивать у обучаемых навыки по смежным дисциплинам, в том числе связанным с компьютерным моделированием.

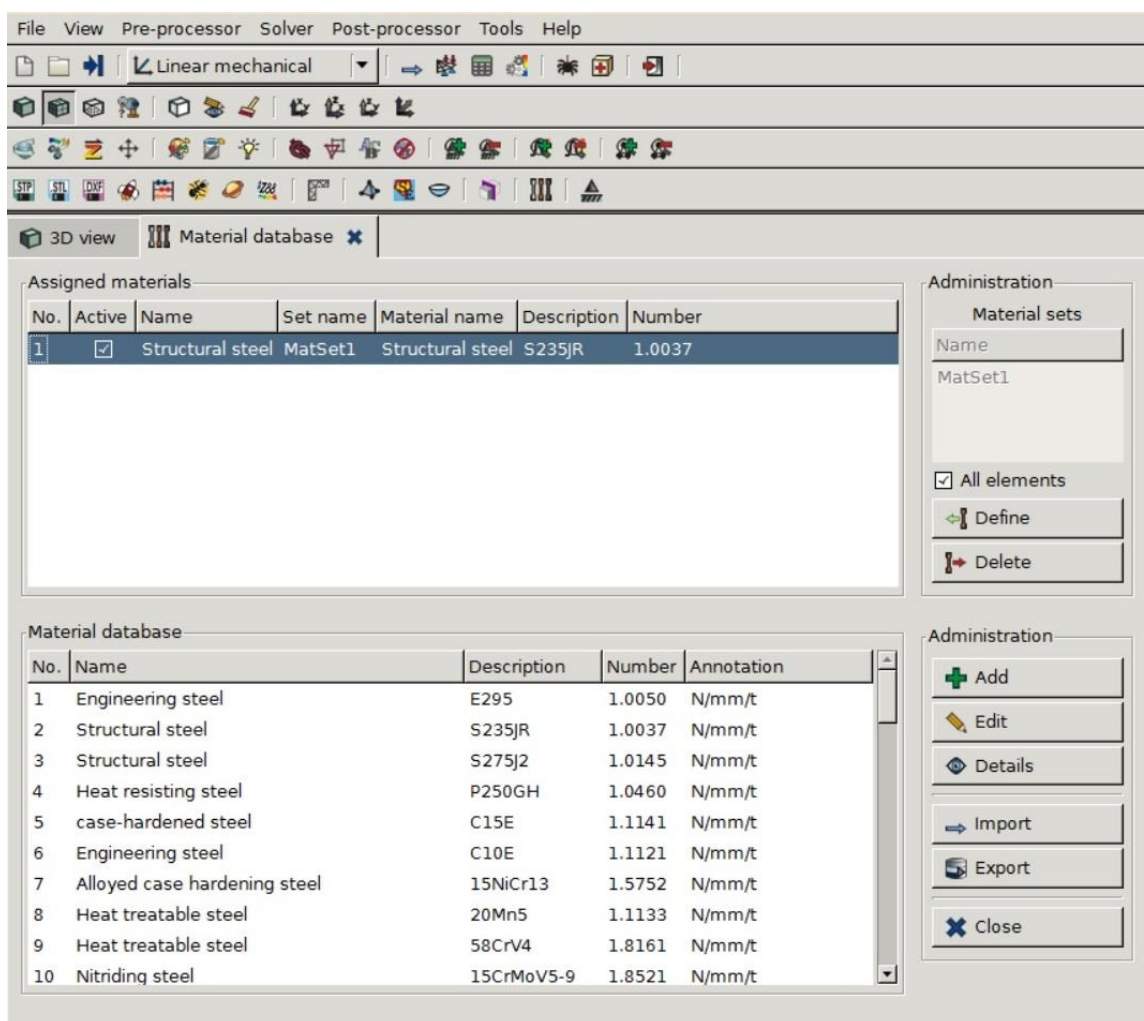


Рисунок 2 – Выбор конструкционных материалов

К недостаткам предложенного подхода следует отнести отсутствие в базе программы данных прочностным свойствам горных пород, а также сложность создания полноразмерных стендов для изучения массива горных пород как единого объекта.

Библиографический список

1. Домрачев А.Н. Совершенствование критерия оценки компьютерных лабораторных работ по курсу «Технология обработки пологих пластов» специальности 21.05.04 «Горное дело» / А.Н. Домрачев, С.В. Риб. // Вестник Сибирского государственного индустриального университета // Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. редакцией Е.В.Протопопова, М.В.Темлянцева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2018. - №4(26). - С.63-65.

2. Домрачев А.Н. Разработка междисциплинарных компьютерных лабораторных работ как основа массового внедрения обучающе-тестирующих систем по направлению подготовки 21.05.04 «Горное дело» // Вестник Сибирского государственного индустриального университета / А.Н. Домрачев, С.В. Риб // Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. редакцией Е.В.Протопопова, М.В.Темлянцева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2018. - №3(25). - С.18-21.

3. Опыт применения обучающе-тестирующей программы по дисциплине «Технология отработки пологих пластов» / А.Н. Домрачев, С.В. Риб // Вестник Сибирского государственного индустриального университета, 2019. - № 1 (27). - С. 62-64.

4. Риб С.В., Никитина А.М., Любогощев В.И. Анализ опыта разработки и первого этапа внедрения компьютерной лабораторной работы «Выбор параметров технологии подготовки и отработки пологого пласта» // Вестник Сибирского государственного индустриального университета, 2016. - № 4 (18). - С. 20 - 23.

5. Смышляев С.А. Численное моделирование взаимодействия ударной воздушной волны с шахтными перемычками при использовании различных средств усиления / С.А. Смышляев, В.Р. Легаев, А.Н. Домрачев // М.: Горный информационно-аналитический бюллетень, МГГУ. – 2015. - № 7. – С. 189-195.

6. Домрачев А.Н. METHODOLOGY FOR THE SELECTION AND JUSTIFICATION OF A MINE STOPPING REINFORCEMENT / А.Н. Домрачев, В.Г. Криволапов, Ю.М. Говорухин, В.И. Липатин, Д.Ю. Палеев // М.: Неделя горняка, Издательский дом МИСиС. НИТУ «МИСиС». –2015.- С.141-150.

УДК 622.2:004.942

БЛОЧНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

Мананников С.Д., Панфилов В.Д.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Волошин В.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: manannikovsib@gmail.com*

В данной статье приведен анализ GEOVIA Surpac – программного обеспечения для геологии и планирования горных работ в карьерах и шахтах, а также для поддержки геологоразведочных проектов. Освещена тема создания каркасной и блочной модели месторождения в программном комплексе GEOVIA Surpac.

Ключевые слова: GEOVIA Surpac, блочное моделирование, проектирование горных работ, программный комплекс, компьютерное моделирование.

В настоящее время в Кузбассе находятся предприятия по добыче различных полезных ископаемых открытым и подземным способом. Угольные разрезы, шахты и рудники по добыче железной руды требуют грамотного планирования горных работ. Необходимо максимально отработать месторождение, минимизировать потери, при минимальных капитальных затратах. На сегодняшний день в помощь горным инженерам и геологам создано

множество разнообразного программного обеспечения, позволяющего составить разного рода прогнозы, автоматизировать некоторые рабочие процессы, и, что самое важное, данные программные комплексы дают возможность цифрового моделирования процессов на горных предприятиях [1-3] и позволяют оценить запасы месторождения полезного ископаемого.

Среди применяемых компьютерных горно-геологических информационных систем (ГГИС) выделяется GEOVIA Surpac – интегрированный продукт для геологии, моделирования ресурсов, планирования горных работ и управления разработкой месторождений. GEOVIA Surpac позволяет осуществить полный цикл проектирования и управления горными работами на предприятии. Программа позволяет интегрировать информацию из различных источников, которые могут просматриваться и включаться в состав планов, поддерживающих проекты технико-экономического обоснования. Программный комплекс позволяет проводить компьютерное моделирование месторождения, пример которого представлен на рисунке 1.

Создание цифровой модели месторождения в программном комплексе позволяет получить наглядное изображение, а также провести анализ распространения полезных компонентов в горном массиве, что обеспечивает эффективность ведения горных работ на предприятии [4,5].

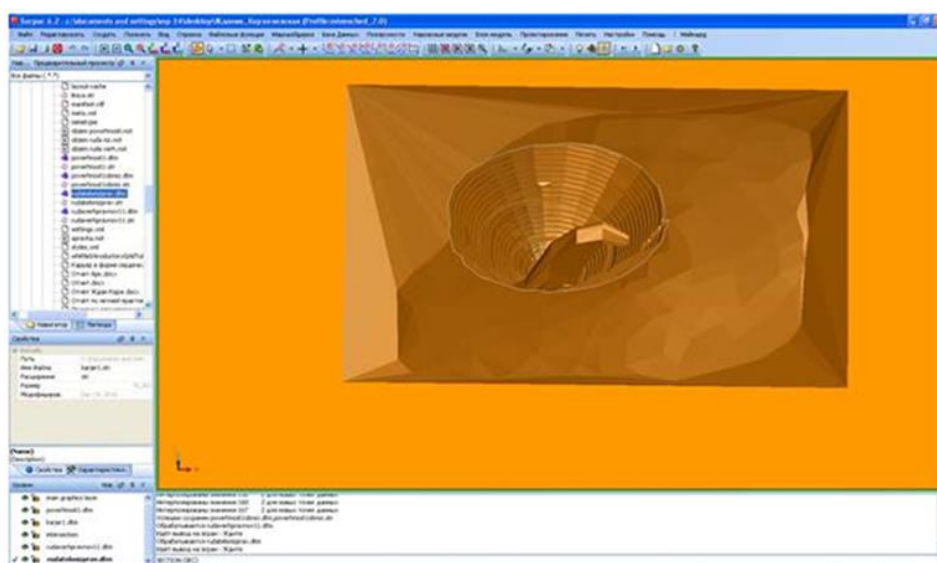


Рисунок 1 – Моделирование в системе «GEOVIA Surpac»

Моделирование месторождения включает в себя следующие этапы работы: создание базы данных; оконтуривание месторождения; построение каркасной модели месторождения; создание блочной модели месторождения.

Геологическая база данных. Геологическая база данных – один из наиболее важных модулей программы GEOVIA Surpac. Для создания геологической базы данных необходимо создать файл базы данных и импортировать информацию из таблиц опробования в существующий файл базы данных. В результате загрузки геологической базы данных в GEOVIA Surpac на

экран выводятся диапазоны содержаний полезных компонентов, раскрашенных в различные цвета.

Создание контуров рудных зон. Контуры месторождения определяются по результатам композитирования, включающего создание укрупненных интервалов с заданными параметрами на основании интервалов опробования.

Каркасное моделирование. Каркасная модель месторождения – полигональный геометрический объект, формирующийся из треугольников, насаженных своими вершинами на точки существующих стрингов. Эти треугольники перекрывают друг друга в плане, но они не пересекаются в трехмерном пространстве. Треугольники каркасной модели создают полностью замкнутый объект. Пример каркасной модели представлен на рисунке 2 [6].

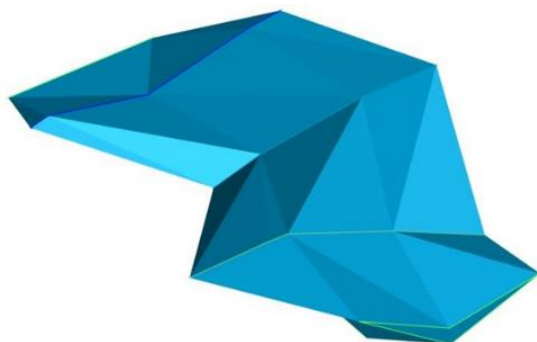


Рисунок 2 – Каркас месторождения

Блочное моделирование. Блочная модель месторождения – это трехмерная модель, построенная путем разбиения этого участка на элементарные ячейки (блоки), имеющие форму параллелепипеда и содержащие в себе числовые характеристики объекта полезных компонентов, полученные в результате интерполяции спорадически расположенных результатов опробования полезного ископаемого. Построение блочной модели начинается с формирования блок-модели с учетом параметров – пространственных пределов уровней и размера блока, подходящего к месторождению. Пример блока показан на рисунке 3 [7].

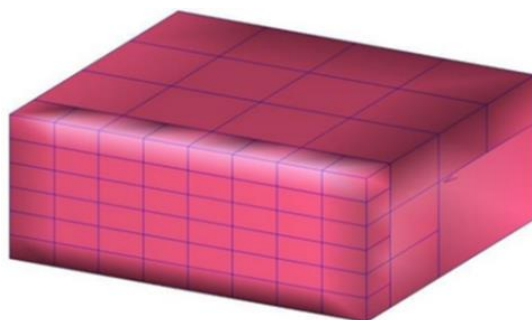


Рисунок 3 – Блок-модель

Полученная блок-модель ограничивается контуром месторождения.

Определенным цветом в контуре месторождения отражается содержание полезных компонентов. Распределение полезного ископаемого в контуре месторождения на примере блочной модели представлено на рисунке 4.

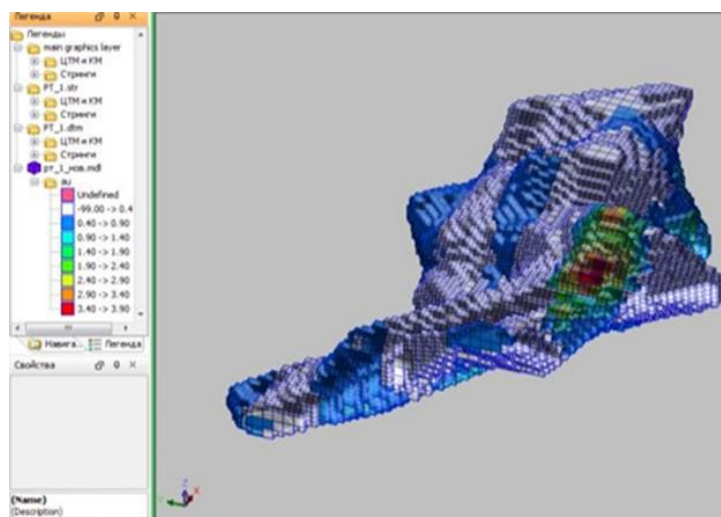


Рисунок 4 – Распределение полезного ископаемого в контуре месторождения

Используя встроенный аппарат геостатистики с набором статистических функций, возможно описать содержание полезного ископаемого в пространстве. Применение геостатистики в горном деле позволяет оценивать общие запасы месторождений, оптимально размещать пробы или скважины на участке, поблочно оценивать запасы полезного ископаемого, производить построение регулярной сети и контурной карты, условно моделировать месторождения для оценивания проектных стратегий добычи полезного ископаемого, а также оценивать извлекаемые запасы полезного ископаемого [8,9].

Компьютерное моделирование является одним из эффективных методов изучения сложных систем. Компьютерные модели проще и удобнее исследовать в силу их возможности проводить т. н. вычислительные эксперименты, в тех случаях, когда реальные эксперименты затруднены из-за финансовых или физических препятствий, или могут дать непредсказуемый результат.

Подобную технологию на сегодняшний день активно внедряет АО «Шахта «Большевик». В период с 2019 по 2020 г. проводились исследования в области изучения геологических нарушений, в зоне которых на сегодняшний день ведутся очистные работы выемочного участка №29-60 по пласту 29а. Благодаря данной технологии инженерно-технический состав производства имеет возможность проводить эксперименты в области изучения горного массива, анализировать его поведение при различных схемах отработки, тем самым выбрать наиболее эффективную, снижая факторы воздействия геологических нарушений и минимизируя технические простои, получая положительный экономический эффект для предприятия. Применение цифрового двойника при моделировании месторождения обусловлена увеличением объемов промышленных запасов, а также добычей редкоземельных металлов и ценных марок угля, являющихся важной составляющей горной и металлургической промышленности Кузбасса. Полученная математическая модель цифрового двойника позволяет провести планирование горных работ с максимально эффективной разработкой месторождения без физического воздействия на технологический процесс, что существенно сокращает общий

объем проведения вскрывающих и подготовительных выработок, повышает безопасность ведения горных работ.

Вывод. Представленные возможности программного комплекса GEOVIA Surpac по результатам обработанной геологоразведочной информации ведут к улучшению планирования ведения горных работ, сокращению простоев горно-шахтного оборудования, снижению затрат на техническое обслуживание.

Библиографический список

1. Моделирование численными методами процессов обрушения пород кровли / Ю.М. Говорухин, С.В. Риб, А.М. Никитина, В.Н. Фрянов // Горный журнал. 2019. № 4. С. 23-26.

2. Риб С.В. Численное моделирование геомеханического состояния неоднородных угольных целиков методом конечных элементов / Риб С.В., Басов В.В., Никитина А.М., Борзых Д.М. // Научно-технические проблемы разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. ст. - Новокузнецк, 2014. -С. 123-128.

3. Риб С.В. Разработка комплекса проблемно-ориентированных программ для численного моделирования напряженно-деформированного состояния неоднородных угольных целиков / С.В. Риб, В.Н. Фрянов // Горный информационно-аналитический бюллетень. -2014. -№3. -С. 367-372.

4. Тулубаева М.Ф., Мажитов А.М. Применение Surpac в компьютерном моделировании рудных месторождений // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 72-й международной научно-технической конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. университета им. Г.И. Носова. 2014. Т.1. С. 47-50.

5. Моделирование месторождений в системе «GEOVIA Surpac»: [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://poisk-ru.ru/s11728t18.html>, свободный (дата обращения: 19.03.2022).

6. Дьяконов В.В., Жорж Н.В. Компьютерные методы обработки геологической информации. – Москва: РУДН, 2015. - 266 с.

7. Бристол Р. Обработка блочной модели по колоннам в Surpac. – М.: Перт, 2013. – 32 с.

8. Коноплев А.В., Кустов И.В., Красильников П.А. Геоинформационные системы в геологии. – Пермь: Пермский госуниверситет. 2014. - 100 с.

9. Создание цифровой модели месторождения: [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://www.magtu.ru/servisy-sajta/fajlovyj-arkhiv/send/423-aktualnye-problemy-gornogo-dela/7547-2-2-2016.html>, свободный (дата обращения 21.03.2022).

АНАЛИЗ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Мананников С.Д.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Волошин В.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: manannikovsib@gmail.com*

В данной статье рассматривается программное обеспечение по анализу и визуализации геологоразведочных данных – ParaView и возможность его внедрения на горнодобывающем предприятии.

Ключевые слова: приложение ParaView, анализ, визуализация, моделирование, программное обеспечение, горнодобывающее предприятие, горная выработка, горный массив, график.

В практике горного производства, известно, что на горнодобывающем предприятии, извлекающим полезные ископаемые подземным способом, возникают ситуации, когда напряжения, концентрирующиеся вокруг горной выработки в массиве, превышают предел прочности пород, что может привести к негативным последствиям - динамическим явлениям. Однако, есть несколько способов предугадать возможную опасную ситуацию и избежать последствий. Один из таких способов – прогнозирование динамических явлений с помощью компьютерного моделирования. Современные информационные технологии, в виде некоторых программных комплексов, позволяют провести анализ горного массива на предмет превышения напряжений в отдельных его частях [1-4]. Один из таких программных комплексов – программа ParaView, возможностями которой заинтересовались некоторые шахты Кузбасса, в частности, АО «Шахта «Большевик», на которой в последнее время проводятся мероприятия по внедрению компьютерных технологий на производстве.

ParaView – это многоплатформенное приложение для анализа и визуализации данных. Его можно использовать для построения визуализаций при анализе данных с использованием качественных и количественных методов. Исследование данных может выполняться интерактивно в 3D или программно с использованием возможностей пакетной обработки ParaView [5].

Перед началом исследования распределения напряжений с помощью ParaView необходимо собрать геологоразведочные данные, снимая показания датчиков напряженности горного массива. С помощью прикладного программного обеспечения полученные данные компилируются в единую модель исследуемой области. После создания модели производится её анализ и визуализация в программе ParaView. Программа позволяет строить разрезы, показывая тем самым скрытые области, над которыми также есть возможность работать, что достаточно важно для увеличения точности результата.

Одной из главных особенностей программы ParaView является воз-

возможность визуализировать напряжения в любой области горного массива, например, вокруг горной выработки. Пример такой визуализации представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Визуализация напряжений горного массива вокруг исследуемой выработки

Исследуя горный массив на предмет напряженности, ParaView позволяет строить графики, относительно любой оси в пространстве. На графиках строится кривая, соединяющая точки с определенным показателем напряжения и глубины. Пример графика напряжений по вертикальной оси, вокруг одной выработки, представлен на рисунке 2.

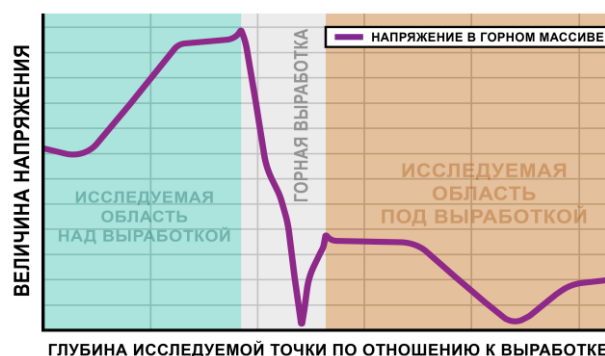


Рисунок 2 – График напряжений горного массива над и под выработкой

Благодаря полученным результатам с помощью программного обеспечения ParaView, предоставляется возможность заблаговременно обнаружить зоны с повышенным горным давлением, что в дальнейшем позволит оптимизировать процесс проведения и поддержания горных выработок и повысить безопасность горных работ [6].

Программное обеспечение ParaView способно визуализировать и анализировать не только напряжения, но и любые другие параметры горнодобывающего предприятия, в том числе смещения пород, скорость воздуха в горных выработках, тем самым расширяя круг действий и возможностей для оптимизации других технологических процессов, помимо проведения и поддержания горных выработок [7].

Выводы. Актуальность цифровизации на горнодобывающих предприятиях в современных условиях вызвана оптимизацией и повышением безопасности горных работ на всех уровнях.

Программное обеспечение ParaView, направленное на анализ и визуа-

лизацию данных, полученных на горнодобывающем предприятии, предоставляет возможность получить точную информацию о распределении напряжений в горном массиве, позволяет быстро строить практически любые параметрические графики, тем самым, ускоряя процесс геологоразведочных, проектных и технологических работ. Возможность использования ParaView на любых компьютерных платформах расширяет круг действия программного обеспечения и упрощает его внедрение в компьютерную инфраструктуру предприятия, способствует улучшению качества планирования горных работ и предотвращения негативных факторов при повышенных напряжениях в массиве горных пород вне и в зоне влияния очистных работ.

Библиографический список

1. Разработка алгоритма оценивания напряжённо-деформированного состояния неоднородного угольного целика с использованием двух- и трёхмерной реализации метода конечных элементов / С.В. Риб, А.Н. Домрачев // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Труды X Всероссийской научно-практической конференции./под общ. редакцией С.М. Кулакова, Л.П. Мышляева; Сиб. гос. индустр. ун-т. -Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. -С. 465-469.

2. Риб С.В., Басов В.В. Методика численного исследования напряженно-деформированного состояния неоднородных угольных целиков с применением современных компьютерных технологий // Вестник СибГИУ. 2015. № 4 (14). С. 22 - 26.

3. Риб С.В., Волошин В.А., Исаченко А.А. Прогнозирование пучения горных пород в окрестности подготовительных выработок при отработке весьма сближенных угольных пластов / Научное обеспечение разработки и использования минеральных ресурсов: сборник научных статей. - Новокузнецк, 2015. -С. 129-132.

4. Домрачев А.Н., Риб С.В. Синтез 2D и 3D моделей для прогноза устойчивости неоднородных целиков на угольных шахтах -В кн.: Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах. 2016. С. 211 -215.

5. Многоплатформенное приложение для анализа и визуализации данных ParaView: [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://hmong.ru/wiki/ParaView>, свободный (дата обращения: 23.03.2022).

6. Визуализация результатов численных экспериментов с помощью системы Visualization Toolkit: [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vizualizatsiya-rezultatov-chislennyh-eksperimentov-s-pomoschyu-sistemy-visualization-toolkit>, свободный (дата обращения: 23.03.2022).

7. Перспективы цифровизации исследовательской деятельности в геологоразведке: [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-tsifrovizatsii-issledovatel'skoy-deyatelnosti-v-geologorazvedke>, свободный (дата обращения: 23.03.2022).

ПЛАНИРОВАНИЕ ГОРНЫХ РАБОТ БЕЗ ФИЗИЧЕСКОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА В РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

Мананников С.Д., Панфилов В.Д.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Волошин В.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: manannikovsib@gmail.com*

В данной статье приведен анализ цифрового двойника, а также приведено техническое решение по внедрению данной технологии на угольных шахтах Кузбасса и анализ накопленной информации для улучшения эффективности предприятия и предотвращения аварий. Предложены цифровые решения для горного производства, направленные на повышение эффективности функционирования горнотехнической системы в условиях постоянно изменяющихся внешних и внутренних факторов, влияющих на освоение участка недр. Приведен пример реализации данных цифровых решений.

Ключевые слова: цифровизация, горнодобывающая отрасль, подземные горные работы, диспетчеризация, контроль функционирования, цифровой двойник, база данных, блок-схема.

Стремительное развитие технологий позволяет увеличивать объемы производства на угольных шахтах, но вместе с этим растут и потребности в усиленном обслуживании внутренних процессов, требуется большое количество обслуживающего персонала, усиливаются требования к безопасности. С увеличением количества технологических процессов растет вероятность аварийности на всех уровнях производства. Интенсивное развитие и распространение цифровых технологий в последние годы значительно меняет облик промышленной отрасли, где все больше организаций стремятся перенести процессы в цифровую среду, тем самым существенно снижая издержки и значительно улучшая свою производственную деятельность [1-3].

На сегодняшний день многие горные предприятия используют малый процент данных, получаемый от работы оборудования, перемещения людей, показателей эффективности проведения горных процессов, что ставит важный вопрос о внедрении цифровых технологий, возможности которых почти безграничны, благодаря которым предприятия горной промышленности способны объединить и обеспечить взаимодействие отдельных друг от друга процессов, повысив тем самым эффективность работы горного производства. В процессе цифровой трансформации можно выделить следующие решения, которые активно внедряются на многих предприятиях: использование компьютерного моделирования геологических объектов на основе результатов геологоразведочных работ для подсчета запасов и планирование

их отработки, оцифровка и хранение собранной геологической информации и данных, полученных в ходе проведения геологоразведочных работ [4-6].

Проблемы стремительно растущего горного производства на шахтах Кузбасса поможет решить, так называемый, цифровой двойник – виртуальная компьютерная модель, построенная на основе реального объекта, способная дублировать и воспроизводить его состояния в разных необходимых условиях.

Рассмотрим данное решение на конкретных примерах.

База данных и оптимизация производства. Подключение упорядоченной базы данных к технологической схеме, с возможностью непрерывно собирать всю производственную информацию, с последующей структуризацией, в том числе информации о скорости проведения выработок, объеме добычи полезного ископаемого. Обработка базы данных с помощью средств на основе машинного обучения с последующим составлением оптимизированных графиков горных работ и оптимизацией всего цикла производства.

Прогнозирование и оптимизация производства. Для прогнозирования осложняющих факторов вводятся электронные датчики напряжений, данные с которых непрерывно собираются. Собранные данные с датчиков, а также геологоразведочная информация, отправляется в базу данных, где обрабатывается и впоследствии, на этой основе, составляется карта геологических нарушений в пределах шахтного поля. С помощью средств на основе машинного обучения проводится постоянный мониторинг автоматических датчиков, определяющих напряжения в горном массиве для получения актуальной информации о перераспределении напряжений в конкретных местах. На основе анализа данной информации составляется карта напряжений в угольном массиве. Обработывая информацию о произошедших авариях при конкретных известных условиях анализируются реальные условия на предмет возможных аварий в будущем с некоторой долей вероятности. Для более точного отслеживания состояния шахтопласта, к единой базе данных подключаются программы по составлению аэрологического прогноза, ГИТС, Аист-М, данные с которых записываются в долговременную память и анализируются для предотвращения вероятности технологических аварий в будущем.

Представленные процессы обработки полученной технологической информации ведут к улучшению планирования ведения горных работ и сокращению простоев, и, следовательно, к снижению затрат на техническое обслуживание. Общая база данных для инженерной деятельности и документации способствует последовательному управлению данными, их обновлению, снижению технологических затрат, что впоследствии приведет к увеличению времени безотказной работы оборудования. Схема перемещения и обработки информации в системе цифрового двойника представлена на рисунке 1 [4,7].

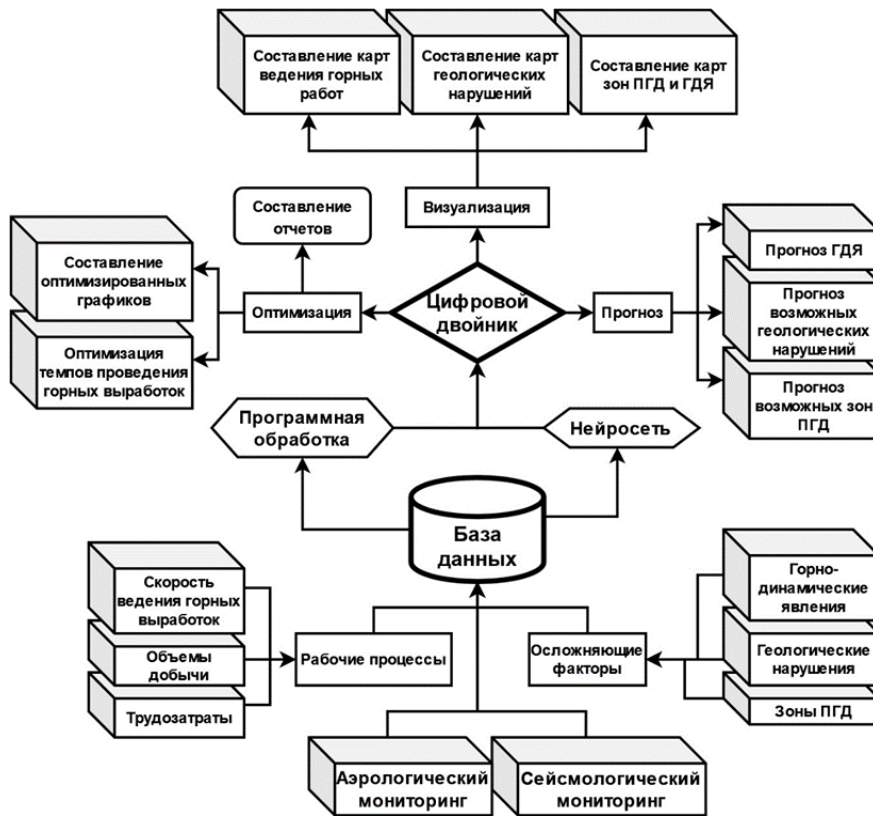


Рисунок 1 – Блок-схема системы цифрового двойника

Одной из компаний, которая занимается активным внедрением цифровых технологий является «Распадская угольная компания», на территориях производств которой активно внедряется сеть видеокамер и датчиков. Видеокамеры обладают инфракрасной подсветкой для съемки в темноте и тепловизорами, которые фиксируют тепловые источники: могут распознать как человека, так и нагретое оборудование. В случае нахождения работника в опасной зоне комбайна система автоматически отключает технику. Посредством Wi-Fi изображение с камер передается на мониторы горного диспетчера и руководителей предприятия. Концептуальная схема работы подобных систем представлена на рисунке 2 [8].



Рисунок 2 – Концептуальная схема работы и обработки показаний, поступающих с горного предприятия

Собранная и обработанная технологическая информация используется для построения карт, графиков и параметров для оптимизации горного производства, выводимых на экран диспетчера. Визуализированные собранные данные компилируются в среду в виде приложения на шахтный смартфон или планшет, предназначенные для шахтного персонала. Схема получения актуальной технологической информации на производстве представлена на рисунке 3.

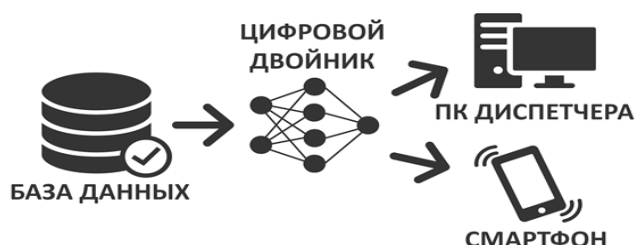


Рисунок 3 – Схема получения технологической информации

Внедрение цифрового двойника последовательное, без нарушения технологической схемы, но включающее остановку технологических процессов на короткий срок в связи с установкой и подключением датчиков к единой системе сбора информации. Сложностью внедрения системы является создание команды разработчиков программного обеспечения по обработке собранной информации и обслуживанию серверных центров, а также повышение квалификации диспетчерской команды под новые условия.

Результатом внедрения цифрового двойника являются: снижение аварийности на всех уровнях производства, своевременное прогнозирование горно-геологических нарушений и горно-динамических явлений, составление оптимизированных графиков горных работ, мониторинг технологических процессов, соответствие современным требованиям безопасности на горных предприятиях.

Вывод. Благодаря внедрению цифрового двойника предприятия горной промышленности смогут выйти на принципиально новый уровень, что в конечном итоге повысит качество добычи полезного ископаемого, улучшит показатели условий и охраны труда и будет иметь положительный эффект как для отдельных предприятий, так и для всей отрасли в целом.

Библиографический список

1. Перспективы цифровизации промышленного производства: [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-tsifrovizatsii-promyshlennogo-proizvodstva>, свободный (дата обращения: 16.03.2022).
2. Трансформация промышленности в цифровой экономике: проблемы и перспективы: [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/transformatsiya-promyshlennosti-v-tsifrovoy-ekonomike-problemy-i-perspektivy>, свободный (дата обращения: 16.03.2022).
3. Обзор мировых трендов цифровизации экономики: [Электронный

ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-mirovyh-trendov-tsifrovizatsii-ekonomiki>, свободный (дата обращения: 16.03.2022).

4. Цифровая трансформация горнодобывающей отрасли: технические решения и технологические вызовы: [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-gornodobyvay-uschey-otrasli-tehnicheskie-resheniya-i-tehnologicheskie-vyzovy>, свободный (дата обращения: 16.03.2022).

5. Численное исследование напряженно-деформированного состояния приконтурного массива в окрестности проводимой горной выработки / А.М. Никитина, Д.М. Борзых, С.В. Риб, А.С. Лесных // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2021. - № 7. - С. 119-123.

6. Риб С.В., Басов В.В. Методика численного исследования напряженно-деформированного состояния неоднородных угольных целиков с применением современных компьютерных технологий // Вестник СибГИУ. 2015. № 4 (14). С. 22 - 26.

7. Цифровая трансформация горнодобывающего предприятия: [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://www.vnedra.ru/novosti/cifrovaya-transformatsiya-gornodobyvayushhego-predpriyatiya-napravleniya-razvitiya-8799/>, свободный (дата обращения: 16.03.2022).

8. Распадская угольная компания ЕВРАЗ: в шахту - с планшетом, на разрез - с квадрокоптером: [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspadskaya-ugolnaya-kompaniya-evraza-v-shahtu-s-planshetom-na-razrez-s-kvadrokopterom>, свободный (дата обращения: 16.03.2022).

УДК 622.057.3:004.9

ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВОГО ПЛАНШЕТА «УМНЫЙ НАПАРНИК» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И СНИЖЕНИЯ РИСКА АВАРИЙ НА УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Панфилов В.Д., Мананников С.Д.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Волошин В.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: vadim.panfilov.2000@gmail.com*

В данной статье приведен анализ промышленного цифрового планшета «Умный напарник», а также приведено техническое решение по внедрению данной технологии на угольных шахтах Кузбасса и в полной мере описаны достоинства.

Ключевые слова: умный напарник, планшет, устройство, операционная система, информация, электронное устройство, датчик, шахта.

В последние десятилетия наблюдается качественная и количественная

модернизация угольной промышленности в Российской Федерации и в частности Кемеровской области - Кузбассе. Увеличение производственной добычи угля за счет введения новой, высокопроизводительной техники приводит к новым вызовам инженерно-техническому составу из-за усложнений условий отработки месторождения [1].

Последние 10-15 лет развития высоких технологий характеризовались стремительным проникновением портативной электроники во все сферы жизни, что также нашло свое применение в угольной отрасли. Большое количество «умных датчиков», систем видеокамер, «шахтной системы Wi-Fi», которые применяются на предприятиях, ежесекундно отслеживают большое количество информации, затрагивая все аспекты функционирования производства [2,3]. Но одновременно с этим возникает потребность в доступности и мобильности передаваемой информации, ведь быстрое реагирование на постоянно меняющиеся гео- и газодинамические процессы, возникновение рисков, связанных с работой оборудования, приводит к снижению и недопущению травматизма на производственном объекте, увеличению удобства и скорости передачи производственной информации, а также исключает факторы аварийного простоя угольной шахты, тем самым увеличивает темпы добычи угля.

Одним из путей решения для достижения поставленной цели и формирование безопасной и комфортной среды для работников промышленных предприятий, имеющих подземное взрывоопасное производство, является ввод электронных планшетов и эндоскопов «Умный напарник», сертифицированных для работы на взрывоопасных производствах. Данное техническое решение представлено на рисунке.



Рисунок - Электронный планшет «Умный напарник»

Многофункциональное устройство – электронный планшет «Напарник», предназначен для использования в сложных производственных условиях, а именно на промышленных производствах, в том числе угольных

шахтах, опасных по рудничному газу и пыли, а также на других предприятиях в соответствии с маркировкой взрывозащиты планшет пригоден для работы в диапазоне температуры окружающей среды от -20 до $+50$ °С [4].

Планшет «Умный напарник» на базе операционной системы MS Windows 10 представляет собой универсальное многофункциональное устройство, которое может быть использовано для решения разноплановых задач в условиях взрывоопасного производства. Выбор ОС Microsoft Windows позволяет использовать огромное количество технических программ, использующихся в промышленности и на производстве, а также упростить процедуру написания ПО для планшета персоналом предприятий.

С помощью специально загружаемой системы «ГИТС» в систему планшета, которая посредством считывания с «умных датчиков» показаний напряжений точек горного массива в определенных местах сети горных выработок, передает показания на диспетчерский пункт, с последующей выгрузкой в цифровую сеть предприятия с отображением на дисплее «Умного напарника». В последствии инженерно-технический состав участка прогноза и аэрологической безопасности имеет возможность в быстром доступе отслеживать в любой точке геологическую ситуацию в шахтном поле за любой промежуток времени за счет серверов, которые на протяжении долгого времени хранят информации о поступивших показаниях с датчиков, определять условия залегания полезного ископаемого, производить прогноз массива по потенциальным горным ударам, внезапным выбросам угля и газа, а так держать на контроле ситуацию в очистном забое и оконтуривающих его горных выработках на угрозу внезапного пучения кровли и почвы [5].

Планшет также оборудован встроенной фотокамерой с разрешением 8 Мп, позволяющей делать цифровые снимки и записывать видеотреклеты с сохранением на жестком диске планшета. Встроенная мощная вспышка дает возможность вести фотосъемку в условиях отсутствия освещения, а также с помощью встроенной телевизионной камеры возможно проведение тепловой съемки различных технологических устройств и оборудования.

С использованием разъема внешних устройств проводится подключение таких устройств как: эндоскоп устройств, с помощью которого производится осмотр вертикальных и горизонтальных скважин, ультразвукового дефектоскопа, виброметра, измерителя электрополей, датчика сейсмической активности, выносной камеры и другого оборудования.

Представленное техническое решение имеет перспективу внедрения на АО «Шахта «Большевик». В процессе обработки данных после исследования в области изучения геологических нарушений была создана динамическая цифровая модель, где отображаются напряжения в каждой точке выемочного столба по ходу продвижения очистного забоя. С помощью выгрузки представленной модели в цифровую систему «Умного напарника» горные мастера имеют возможность в режиме реального времени отслеживать ситуацию по ведению рабочих процессов на своих участках и в результате непрерывного анализа потенциально предотвратить различные аварийные ситуации и

простой производства.

Данная технология уже нашла свое применение на территории шахт ООО «Распадская угольная компания». Посредством сети Wi-Fi подземные планшетные компьютеры с ударопрочным искробезопасным корпусом обеспечивают оперативный и непрерывный контроль работы дегазационной сети под землей. Специальное программное обеспечение позволяет горному мастеру вносить в чек-лист и фотографировать все нарушения, обнаруженные в работе дегазационной сети, а сформированный отчет автоматически рассылать по электронной почте руководителям [6].

Вывод. Результатом внедрения данной технологии является непрерывный контроль работы производства, позволяющий отслеживать любой технологический процесс и его корректность работы, за счет чего повышается удобство и скорость передачи информации, повышается травмобезопасность на угольном предприятии.

Библиографический список

1. Цифровые технологии индустрии 4.0 в майнинге 4.0 - перспективы развития геотехнологии в XXI веке / М. Чехлар, С.А. Жиронкин, О.В. Жиронкина // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2020. - № 3 (139). - С. 80-90.

2. Никитин А.И. Универсальный автоматизированный учет измерения длины дегазационных скважин / А.И. Никитин, С.В. Риб, А.М. Никитина // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Вып. 22. Часть II. Естественные и технические науки. / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. М. В. Темлянцева. - Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2018. - С. 80-83.

3. «Умная шахта» СУЭК-Кузбасс: будущее уже сегодня: [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <http://www.kuzbas.ru/more.php?UID=48938> (дата обращения 20.03.2022).

4. «Напарник» – взрывозащищенный помощник: [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/prombez/15202-naparnik-vzryvozashchishchjonnyj-pomoshchnik/> (дата обращения 20.03.2022).

5. Взрывозащищенный планшет «Умный напарник» - Цифровизация: [Электронный ресурс]: сайт. – Режим доступа: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/tsifrovizatsiya/697609-umnyu-naparnik/> (дата обращения 20.03.2022).

6. Распадская угольная компания ЕВРАЗ: в шахту - с планшетом, на разрез - с квадрокоптером: [Электронный ресурс]: сайт. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspadskaya-ugolnaya-kompaniya-evraza-v-shahtu-s-planshetom-na-razrez-s-kvadrokopterom> (дата обращения 20.03.2022).

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ КУЗБАССА

Ворсина А.М., Агеев Д.А.

Научный руководитель: канд. тех. наук, доцент Никитина А.М.

Сибирский государственный индустриальный университет.

г. Новокузнецк

В данной статье рассмотрена проблема отставания темпов рекультивации нарушенных земель от темпов их нарушения открытыми горными работами, анализ способов рекультивации. Представлены сведения о распределении площади нарушенных и рекультивированных земель в Кузбассе за период 2005-2020 годы, представлены фотографии нарушенных земель на угольных разрезах в Кузбассе. Результаты исследования представлены в виде таблиц и диаграмм.

Ключевые слова: горнодобывающая промышленность, угольная отрасль, рекультивация, нарушенные земли.

Кемеровская область является наиболее промышленно развитым регионом в Сибири. В настоящее время в регионе добывается 58% российского угля. Площадь нарушенных земель на территории Кемеровской области достигает 100 тыс. га. По данным официальных статистических органов в 2021 г. доля добытого угля составила 57,9% от общероссийской добычи, доля каменного и бурого обогащенного угля — 66,0%. В 2019 г. было добыто 249,4 млн т угля, из них добыто открытым способом 65,3% угля. В 2021 г. было добыто 243,1 млн т угля, что на 10% больше объемов угледобычи в 2020 году [1].

Разработка угольного месторождения оказывает негативное воздействие на недра, почвы, подземные и поверхностные воды, растительный и животный мир, то есть добыча угля оказывает влияние на все компоненты окружающей среды. Для добычи угля открытым способом характерно изменение рельефа на участке работ — образование искусственных отрицательных (карьерная выемка) и положительных (отвалы) форм рельефа. Для полного нивелирования или частичной нейтрализации негативных экологических и социальных последствий, которые возникают в результате открытых горных работ, законодательство многих стран, в том числе и России, предусматривает обязательные мероприятия по восстановлению нарушенных земель — рекультивацию.

Одна из серьезнейших экологических проблем Кузбасса — значительное отставание темпов рекультивации земель от темпов их нарушения открытыми горными работами [7]. Площадь нарушенных земель постоянно растет, при этом нет точных данных и встречаются различные оценки о площади нарушенных земель. По статистике, в 2018 г. в Кузбассе было нарушено 4,3 тыс. га земли, а восстановлено лишь 108 га — чуть более 2%.

Российская система регулирования природоохранной деятельности не

располагает эффективными инструментами обеспечения ее выполнения и контроля. Конечно, часть горнодобывающих компаний ведут свой бизнес, демонстрируя экологическую и социальную ответственность, однако большинство предприятий не выполняют своих обязательств, не производят восстановление земель, нанося огромный экологический ущерб региону, при этом не несут никакой ответственности.

По результатам контрольно-надзорных мероприятий, проведенных Управлением в 2020 году, к административной ответственности по ч. 1 ст. 8.7 КоАП РФ за невыполнение или несвоевременное выполнение обязанностей по рекультивации земель при разработке месторождений полезных ископаемых, включая общераспространенные полезные ископаемые, привлечены АО «Разрез Томусинский», ООО «Шахта «Есаульская», ООО «Энергоуголь», ООО «Ресурс», ООО «Энергия-НК», ООО «ММК-Уголь», ООО «Шахта им. С.Д. Тихова», ООО «Воскресенка», ООО «Диабаз», ООО «Артель старателей «Аргут», ООО «Артель Восточная», ООО «Сибирская золоторудная компания», ООО «Кузбассзолото», ООО «Базас», ООО «Сибгравий» [2].

Фотографии угольных разрезов и нарушенных земель от их работы представлены на рисунке 1.



а)



б)



в)

а) АО Разрез «Томусинский»; б) ОАО «УК «Кузбассразрезуголь»
Филиал «Моховский угольный разрез»; в) АО Разрез «Талдинский»

Рисунок 1 – Нарушенные земли на угольных разрезах в Кузбассе

Данные о статистике нарушенных земель подтверждают необходимость действий в этом направлении как в краткосрочном, так и долгосроч-

ном периоде. Установлено, что по сравнению с 2005 г. в 2021 г. произошло увеличение земель промышленного назначения и особо охраняемых территорий и снизилась площадь земель запаса. Причем прирост земель промышленного назначения составил 26,3 %, а убыль земель запаса – 31,6 %.

Анализ зависимости площади нарушенных и рекультивируемых земель в Кемеровской области представлены в виде диаграммы на рисунке 2.

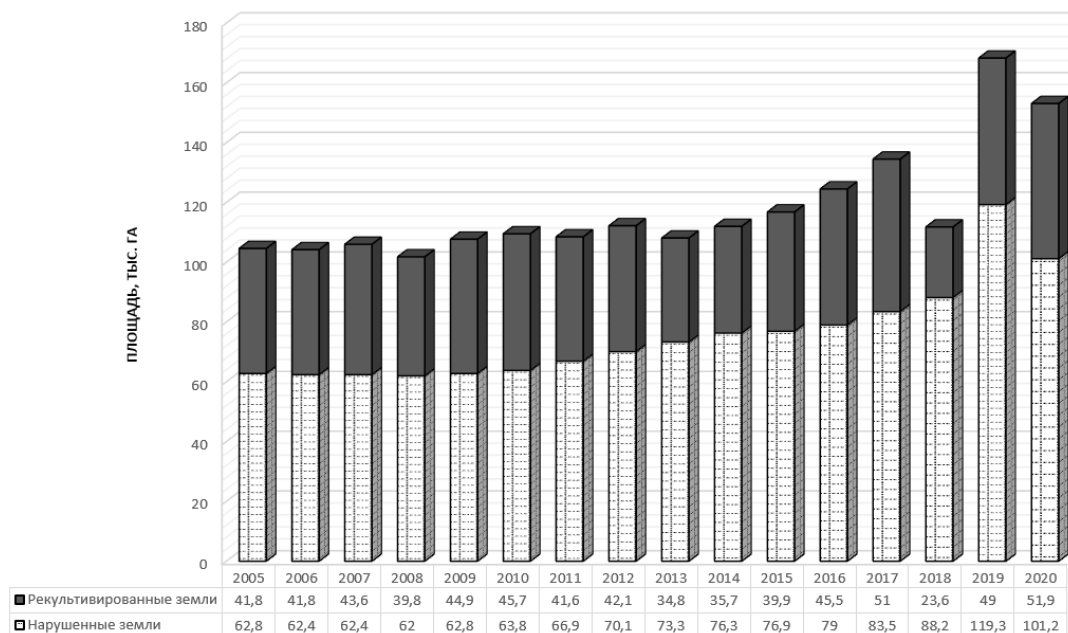


Рисунок 2 – Площадь нарушенных земель в Кузбассе

В Кузбассе к 2035 г. планируется добывать 400 млн тонн угля в год, то количество нарушенных земель вырастет практически вдвое и составит не менее 200 тыс. га. Чтобы стабилизировать площадь нарушенных земель, нужно ежегодно восстанавливать не менее 4 тыс. га [3-4].

С целью снижения площадей нарушенных земель в Кузбассе, требуется поднять уровень рекультивации. Для решения данной проблемы предлагаются следующие рекомендации:

1. В первую очередь необходимо принятие закона «о рекультивации земель», в котором должны быть определены объекты рекультивации, основание, условия и сроки проведения рекультивации, регламентирован порядок выдачи разрешений на проведение работ, связанных с нарушением земель, учет нарушенных земель, порядок приемки и передачи рекультивированных земель, установлен порядок контроля за рекультивацией земель, виды ответственности за нарушение установленных требований;

2. Не мало важным является такой аспект, как планомерное развитие гражданского общества. Пока люди терпеливо живут среди отвалов, подвергая свое здоровье, здоровье детей и последующих поколений опасности, мирятся с низким комфортом жилья и нарушением конституционного права на здоровую окружающую среду, до тех пор

частные компании будут экономить на работе по восстановлению нарушенных земель.

3. Необходимо создать совет по рекультивации из числа ученых, специалистов и руководителей крупных предприятий, которые должны будут:

- разработать методы диагностики экологического состояния нарушенных и рекультивируемых земель;
- осуществить мониторинг за динамикой свойств и режимов формирующихся экосистем;
- разработать новые технологические приемы рекультивации нарушенных земель;
- разработать теории проектирования рекультивационных мероприятий с высокой экологической эффективностью; выполнить экологическое конструирование ландшафтов разноцелевого назначения, в том числе и рекреационного [5].

Рекомендуется повысить качество лесохозяйственной рекультивации.

Проведение рекультивации является необходимым мероприятием, так как рекультивация нарушенных земель имеет большое хозяйственное и природоохранное значение в связи с дефицитом земельных ресурсов и отрицательным воздействием на окружающую среду промышленных разработок. Введение рекультивации в единый технологический процесс горных работ способствует снижению затрат на рекультивацию и совершенствованию самого процесса рекультивации. Благодаря правильному подходу к проблеме рекультивации на месте промышленных разработок можно создать сельскохозяйственные угодья, сады, леса, водоемы и зоны отдыха [6].

Библиографический список

1. Власюк Л.И. Стратегический приоритет экологизации экономики Кузбасса: фонд рекультивации земель [Электронный ресурс] / Л.И. Власюк // Управленческое консультирование. 2021. №2 Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/strategicheskiy-prioritet-ekologizatsii-ekonomiki-kuzbassa-fond-rekultivatsii-zemel>.

2. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2020 году // Режим доступа: [doklad_2020.pdf \(ako.ru\)](#)

3. Хорошилова Л. С. Проблемы нарушенных земель в Кузбассе и их пути решения [Электронный ресурс] / Л.С. Хорошилова, А.В. Тараканов // Вестник КузГТУ. 2007. №2. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-narushennyh-zemel-v-kuzbasse-i-ih-puti-resheniya>.

4. Основные показатели охраны окружающей среды 2021 год / Федеральная служба государственной статистики (Росстат) // Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_bul_2021.pdf

5. Андроханов В.А. Некоторые подходы к решению проблемы рекультивации нарушенных земель в Кузбассе [Электронный ресурс] / В.А. Андроханов // ГИАБ. 2009. №12. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru>.

ru/article/n/nekotorye-podhody-k-resheniyu-problemy-rekultivatsii-narushennyh-zemel-v-kuzbasse.

6. Некрасова, А. Е. Рекультивация нарушенных земель на примере породного отвала обогатительной фабрики шахты «Капитальная» Кемеровской области [Электронный ресурс] / А. Е. Некрасова // Науки о Земле: вчера, сегодня, завтра : материалы II Междунар. науч. конф. (г. Москва, июнь 2016 г.). — Москва : Буки-Веди, 2016. — С. 23-26. — Режим доступа: <https://moluch.ru/conf/earth/archive/201/10643>.

7. Сурков А.В. Технология вскрышных работ с использованием природного ландшафта / Сурков А.В., Никитина А.М. // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 14–15 мая 2013 г. Вып. 17. Ч. 2 : Технические науки / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. М. В. Темлянцева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2013. – С. 42–44.

УДК 622.834.53

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ СХОДОВ ПОРОДЫ ОТВАЛА И РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ООО «РАЗРЕЗ «КИЙЗАССКИЙ»

Ворсина А.М.

Научный руководитель: канд. тех. наук, доцент Никитина А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В данной статье рассмотрена проблема нарушенности земель на ООО «Разрез «Кийзасский». Представлены сведения о деятельности разреза, обзорно-административная карта разреза, подробно рассмотрен внешний отвал «Межучастковый» и представлен общий вид оползня в пойме реки Большой Кийзас, а также просадки, трещины, заколы в центральной части верхнего уступа. В результате представлены мероприятия по предотвращению последующих сходов породы отвала и предложения по рекультивации нарушенных земель.

Ключевые слова: разрез, деформация, отвал, отвальные породы, ликвидация схода, рекультивация.

В настоящее время ООО «Разрез Кийзасский» ведет отработку в границах участка Урегольский 5-6. Карьерное поле участка Урегольский отрабатывается по сплошной продольной однобортовой системе разработки [1].

Обзорно-административная карта района представлена на рисунке 1. На схеме расположения вскрывающих систем на конец отработки карьера участка «Урегольский» (рисунки 2) представлены четыре отвала.

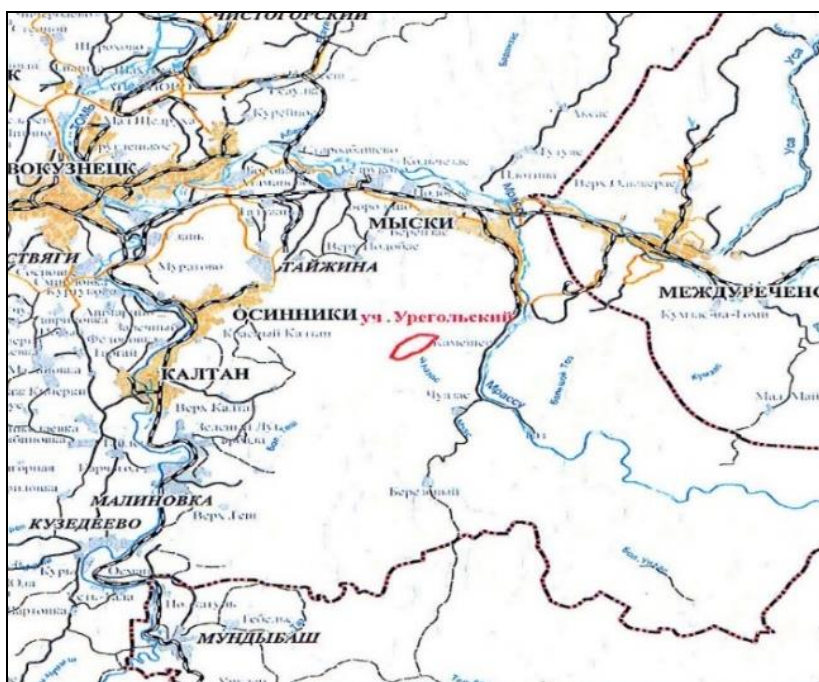


Рисунок 1 – Обзорно-административная карта района

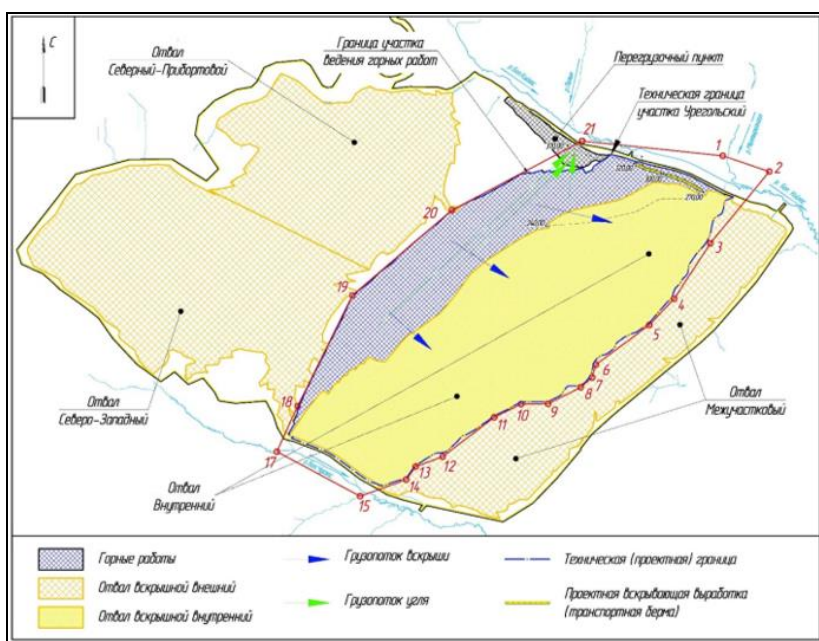


Рисунок 2 – Положение горных работ на конец отработки карьера участка Урегольский

В восточной части внешнего отвала «Межучастковый» ООО «Разрез Кийзасский» 07.06.2019 г. произошли деформационные явления, которые нарушили линию ЛЭП 110КВ. А также произошло перекрытие русла реки Большой Кийзас – 1500м, высота перекрытия русла – 5м горной массы. Породы сошедшей горной массы состоят из потенциально – плодородного слоя (ППП): почвенно–растительный слой, суглинок, древеснисто-щебнистый слой [2].

Визуальные проявления деформационных явлений (трещины, заколы, просадки) на поверхности участка отвала вскрышных пород «Северный» («Межучастковый»), были обнаружены участковым маркшейдером 04.06.2019 года в 11:00 (рисунок 3 а).

Активная стадия деформации участка основания отвала «Межучастковый» началась 7 июня примерно в 01 час 20 минут (рисунок 3 б).



а)



б)

а) Общий вид оползня в пойме реки Б. Кийзас; б) Просадки, трещины, заколы в центральной части верхнего уступа на отметке +415м.

Рисунок 3 – Внешний отвал «Межучастковый»

Для решения проблемы деформации участка основания отвала «Межучастковый» предлагается восстановить старое русло реки, провести техническую и биологическую рекультивацию оставшейся горной массы от схода, также необходимо укрепление откоса отвала инженерными сооружениями.

На этапе восстановления русла реки необходимо выполнить зачистку русла от горной массы, а также укрепить русла «матрацами Рено». Схема восстановления русла реки и «матраца Рено» представлены на рисунке 4.

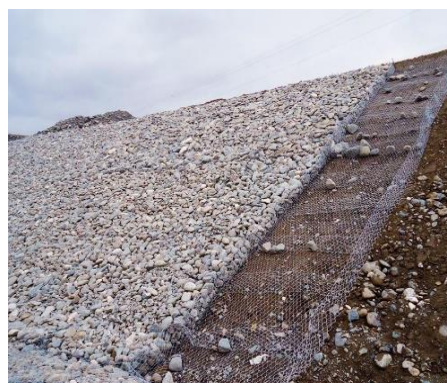
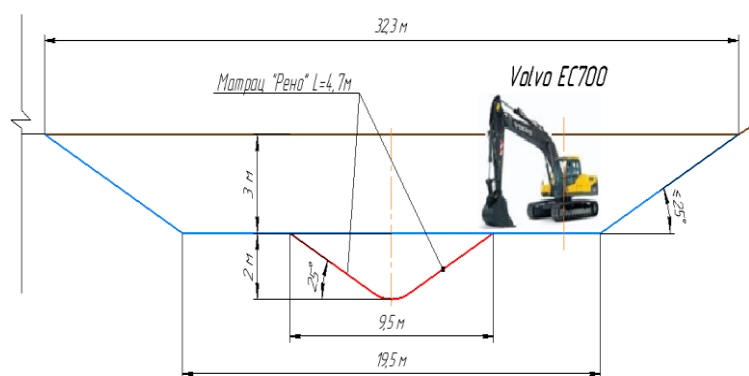


Рисунок 4 – Схема восстановления русла реки и «матрац Рено»

Мероприятия по предотвращению последующих сходов породы отвала:

- наблюдение за состоянием склонов;
- планировка откосов, выравнивание бугров и заделка трещин;
- уменьшение крутизны склонов с помощью техники и направленных взрывов;

- строительство защитных стенок;
- перенос линий электропередач и других объектов в безопасные места или защита объектов специальными сооружениями;
- защита берегов рек отсыпкой пляжного песка или гальки.

В процессе ведения горных работ на разрезах, происходит нарушение значительных территорий земной поверхности с образованием техногенного ландшафта, непригодных в дальнейшем для хозяйственного использования или возвращения в природный цикл без проведения комплекса восстановительных работ [6, 7]. Нарушению подвергаются земли сельскохозяйственного, лесохозяйственного и другого назначения. С целью сохранения земельных ресурсов страны, компенсации ущерба, наносимого природному комплексу, сельскому, лесному и иным хозяйствам, а также чтобы исключить вредное воздействие нарушенных земель на окружающую среду, горные предприятия обязаны проводить рекультивацию нарушенных территорий [3].

Рекультивация нарушенных земель делится на три этапа: проектно-изыскательные работы, технический этап, биологический этап. Во время проектно-изыскательных работ проводится экологическая экспертиза и предлагается проект рекультивации, а также рассчитываются примерные затраты на проведение рекультивации нарушенных земель.

На техническом этапе рекультивации происходит планировка поверхности нарушенных земель, выполаживание откосов отвалов и бортов карьера, противоэрозийные мероприятия, комплекс мелиоративных мероприятий.

Биологическая рекультивация включает комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий по восстановлению плодородия нарушенных земель.

Биологический этап рекультивации будет осуществляться с помощью технологии гидропосева, которая сочетает в себе множество преимуществ:

- Посевная смесь улучшает качество почвы и помогает устранять последствия эрозии.
- Процент всхожести семян при таком способе посадки составляет более 95 %.

- Всего за один день можно засеять площадь до 1 гектара.

Таким образом предлагается следующий план развития территории:

1. Одним из главных решений данной проблемы является увеличение площади парков, скверов и зеленых насаждений;
2. Создание территории санатория, вело парка с велотрассами, парков с водоемами и песчаными берегами;
3. Создание горнолыжных курортов, медовой пасеки и спортивных площадок.

План развития нарушенной территории ООО «Разрез «Кийзасский» представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – План рекультивации нарушенных земель

Библиографический список

1. Петров И.В. Моделирование программы корпоративной социальной ответственности угольных компаний в арктическом регионе [Электронный ресурс] / И.В. Петров [и др.] // Уголь. 2022. №3 Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-programmy-korporativnoy-sotsialnoy-otvetstvennosti-ugolnyh-kompaniy-v-arkticheskom-regione>.

2. Мельникова В.Г. О формах и порядке возмещения вреда, причиненного окружающей среде [Электронный ресурс] / В.Г. Мельникова, Е.М. Суранова // Вестн. Том. гос. ун-та. 2017. №415. Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/o-formah-i-poryadke-vozmesceniya-vreda-prichinennogo-okruzhayuschey-srede>.

3. Харионовский А.А. Экология угольной промышленности: состояние, проблемы, пути решения [Электронный ресурс] / А.А. Харионовский // Вестник Научного центра. 2018. №2. Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologiya-ugolnoy-promyshlennosti-sostoyanie-problemy-puti-resheniya>.

4. Липски С.А. Нарушение и рекультивация земель, отражение соответствующих сведений в государственных информационных системах [Электронный ресурс] / С.А. Липски // Никоновские чтения. 2019. №24. Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/narushenie-i-rekultivatsiya-zemel-otrazhenie-sootvetstvuyuschih-svedeniy-v-gosudarstvennyh-informatsionnyh-sistemah>.

5. Сурков А.В. Технология вскрышных работ с использованием природного ландшафта / А.В. Сурков, А.М. Никитина // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 14–15 мая 2013 г. Вып. 17. Ч. 2 :

Технические науки / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. М. В. Темлянцева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2013. – С. 42–44.

6. Борзых Д.М. Обоснование технологии вскрышных работ с использованием природного ландшафта при открытой разработке угольных месторождений / Д.М. Борзых // Проблемы геологии и освоения недр. Труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 150-летию со дня рождения академика В. А. Обручева и 130-летию академика М. А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2013. С. 299-300.

7. Никитина А.М. Исследование состояния качества речной воды города Новокузнецка / А.М. Никитина, Д.М. Борзых, С.В. Риб // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2016. - С. 314-319.

УДК 504.05(571.17)

ВЛИЯНИЕ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» НА ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Ворсина А.М., Агеев Д.А.

Научный руководитель: канд. тех. наук, доцент Никитина А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В данной статье рассмотрена проблема глобального изменения климата. Представлены сведения о проценте выбросов углерода от деятельности человека, проблема рассмотрена на примере предприятия АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Представлено наиболее оптимальное решение проблемы, а также его экономические и экологические последствия.

Ключевые слова: климат, влияние деятельности человека, парниковый эффект, выбросы, загрязнение воздуха.

В последнее время наблюдается глобальное изменение климата, оно во многом связано с повышением концентрации парниковых газов в атмосфере Земли. Его не объяснить естественными циклами, так как оно обусловлено, в первую очередь, антропогенным воздействием. За последние 35 лет климатические изменения резко ускорились.

В процессе объединения трёх основных аспектов: экономического, социального и экологического, появилась концепция устойчивого развития. Цели устойчивого развития (рисунок 1) будут играть роль ориентира, позволяя странам привести свои планы в соответствие со своими глобальными обязательствами [1].



Рисунок 1 – Цели устойчивого развития согласно программе ООН

В целях борьбы с изменением климата и его негативными последствиями 197 стран приняли Парижское соглашение на Конференции по изменению климата в Париже 12 декабря 2015 года. Это соглашение направлено на существенное сокращение глобальных выбросов парниковых газов и ограничение повышения глобальной температуры. Процент выбросов углерода от различных видов деятельности человека представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Процент выбросов углерода от деятельности человека

Изменение климата, вызванное деятельностью человека, уже сегодня приводит к многочисленным случаям экстремальной погоды во всех регионах планеты. Более того, по данным ученых, меняется вся климатическая система Земли, и эти изменения сказываются на состоянии атмосферы, океанов, ледовых покровов и поверхности Земли. Многие из этих изменений беспрецедентны, а некоторые тенденции – например, рост уровня океана – в ближайшие века или даже тысячелетие невозможно обратить [2, 5-7].

Рассмотрим подробнее проблему на примере предприятия АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Первичный концентрат Таштагольского рудника поступает на Абатурскую обогатительную фабрику. Фотография Таштагольского рудника представлены на рисунке 3.



Рисунок 3 – Таштагольский рудник АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Процессы горнорудного и сталелитейного производства связаны с выбросами двуокси углерода (CO_2) и других парниковых газов. Прямые выбросы ЕВРАЗа в 2018 году достигли 34,6 млн т CO_2 – эквивалента [3].

Для борьбы с загрязнением воздуха крайне необходимо сокращать выбросы в атмосферу. Для этого было предложено использование возобновляемых источников энергии, а также электрификация горнодобывающего оборудования (рисунок 3).



Рисунок 3 – Электрификация и автоматизация производства

Переход на возобновляемые источники электроэнергии становится все более возможным, даже в автономных средах, поскольку прогнозируется снижение стоимости аккумуляторных блоков на 50% с 2017 по 2030 год. В общей сложности переход на чистую энергию поможет сократить выбросы в 18 развитых странах, включая Великобританию, США, Германию и Францию. Они производят 28 % парниковых газов, попадающих в атмосферу. Результаты свидетельствуют, что переход на ВИЭ действительно может снизить выбросы CO_2 — основную причину климатических изменений [4].

Переход к чистой и умной энергетике и экологически чистому транспорту взаимосвязаны. Считается, что будущее за электротранспортом, и что

полностью перейти на него можно менее чем за 10 лет. Электрификация горнодобывающего оборудования, такого как дизельные грузовики и газопотребляющие устройства, только начинает становиться рентабельным. Сейчас только 0,5% майнингового оборудования полностью электрическое.

Экономические последствия после перехода на возобновляемые источники энергии и замене транспорта на электрический:

- Уменьшение выбросов CO₂ до 30 % за счет перехода на возобновляемые источники энергии и замене транспорта на электрический;

- Уменьшение затрат на электроэнергию.

Технологические последствия от внедрения предложенных вариантов:

- Снижение количества выбросов парниковых газов до 50 %;

- увеличение доли ВИЭ (без крупных ГЭС) в потреблении первичной энергии до 10 % в 2030 г.;

- увеличение доли ВИЭ (без крупных ГЭС) в производстве электрической энергии до 10% в 2030 г.

Библиографический список

1. Вякина И.В. Социально-экологические аспекты экономической безопасности в рамках концепции устойчивого развития [Электронный ресурс] / И.В. Вякина // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2018. №12. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialno-ekologicheskie-aspekty-ekonomicheskoy-bezopasnosti-v-ramkah-kontseptsii-ustoychivogo-razvitiya>.

2. Язев С.А. Глобальное потепление и вопросы научной методологии [Электронный ресурс] / С.А. Язев [и др.] // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2009. № 1. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/globalnoe-poteplenie-i-voprosy-nauchnoy-metodologii>.

3. Сокращение выбросов в атмосферу – Охрана окружающей среды [Электронный ресурс] : Охрана труда, промышленная безопасность и экология – ЕВРАЗ Отчет об устойчивом развитии 2018. - Режим доступа: <https://sr2018.evraz.com/ru/hse/environmental-stewardship/reducing-emissions>.

4. Чекемес Ю.Т. О возможности использования альтернативных топлив в ДВС сельскохозяйственного назначения [Электронный ресурс] / Ю.Т. Чекемес // Научный журнал КубГАУ. 2006. №18. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnosti-ispolzovaniya-alternativnyh-topliv-v-dvs-selskohozyaystvennogo-naznacheniya>.

5. Агеев Д.А. Исследование загрязнения снежного покрова в городе Новокузнецке / Д.А. Агеев, А.М. Ворсина // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения/ СибГИУ. – Новокузнецк, 2021. –12–14 мая – С. 68-72

6. Агеев Д.А. Влияние выбросов промышленных предприятий на качество воды реки Томь г. Новокузнецка / Д.А. Агеев, А.М. Ворсина // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения/ СибГИУ. – Новокузнецк, 2021. –12–14 мая – С. 295-300.

7. Онюшкина А.А. Исследование состояния качества атмосферного воздуха по составу снежного покрова на ООО «Шахта Есаульская» / А.А. Онюшкина // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения/ СибГИУ. – Новокузнецк, 2020. – С. 50-54.

УДК 622.7.012:658.562

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБХОДА ИНСПЕКЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СТАЦИОНАРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ

Ворсина А.М.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Никитина А.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В данной статье рассматривается проблема больших временных и трудовых затрат на обход инспекций технологического стационарного оборудования обогатительной фабрики. Для решения данной проблемы представлено наиболее оптимальное решение, рассмотрены плюсы представленного варианта, а также его экономические последствия.

Ключевые слова: обогатительная фабрика, обход инспекций, оборудование, технический осмотр.

Обогатительная фабрика №12 расположена недалеко от города Удачный, Мирнинский район Республики Саха (рисунок 1). Проектная производительность фабрики составляет 10,5 млн тонн в год, что с запасом перекрывает существующие потребности горного производства Удачинского ГОКа и что составляет существенный вклад в общую ежегодную добычу группы компаний АЛРОСА (в 2020 год она составила около 30 млн карат) [1].



Рисунок 1 – Обогатительная фабрика №12 и ее расположение на карте

На участке рудоподготовки применяется большое количество различного оборудования. Более 150 единиц, таких как грохота, ленточные конвей-

ера, гидроциклоны, классификаторы, насосы, магнитные сепараторы и многие другие обеспечивают участок окончательной доводки подготовленным сырьём. 10,5 млн тонн горной массы в год создают высокую ежедневную нагрузку на функционирующее оборудование, где любая его незапланированная остановка приводит к простоям в производстве и как следствие, к большому финансовым убыткам.

Для обеспечения устойчивой работы оборудования на обогатительной фабрике внедрена система ППР – планово-предупредительного ремонта. Так же на обогатительной фабрике сформированы 7 маршрутов ежемесных технических осмотров оборудования. Во время проведения осмотра проводятся черновые записи результатов.

Каждый осматриваемый элемент оборудования должен иметь запись о результатах осмотра. Фотоснимки, зарисовки должны быть дополнением к записи (рисунок 2). Записи ведутся в последовательности проведения осмотра и их форма должна максимально соответствовать форме отчётного документа (рисунок 3). Зарисовки мест повреждений выполняются на заранее подготовленных чертежах и эскизах элементов оборудования.



- - Визуальный осмотр
- - Измерения виброметром, пирометром

Рисунок 2 – Снимок оборудования во время осмотра [2]

Грохота																								
Дата:																								
Номер позиции	1	2	3	4	5	6	7	8	101	102	103	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116		
Промышленная безопасность																								
Наличие защитных устройств и качество их исполнения																								
Защитные ограждения																								
Ограждения																								
Основные элементы конструкции																								
Шпальты																								
Сеть башки																								
Параллели																								
Выбратор																								
Плоскостные																								
Задней башки																								
Плоскостные																								
Орешники																								
Среднеподвижные турбоприводы																								
Шайбовые салазки																								
Короба питатели																								
Ответственный/подпись:	_____																							
Комментарии:	_____																							

Рисунок 3 – Бланк записи результатов осмотра

Анализ технологической цепочки производственного процесса показал:

- оборудование, используемое во время ежедневных обходов, позволяет качественно проводить осмотр технологического оборудования, но при этом затрачивается большое количество времени на осмотр;

- большое количество времени и труда уходит не только на осмотр технологического оборудования, но и на заполнение чек-листов, необходимых для обхода и проверки оборудования.

Для борьбы с большими трудовыми и временными затратами была предложена система мониторинга промышленного оборудования «Диспетчер». Данная система помогает значительно увеличить эффективность производства через оптимизацию производственных процессов. В процессе работы происходит оценка нагрузки, определяются проблемные места в выстроенных технологических цепочках. Удастся получить сведения о производственных потерях, установить причины их появления.

Автоматизированный контроль температуры обмоток электродвигателей и подшипников используют различные сигнальные устройства (аппаратуру встроенной температурной защиты и сигнализации типа RS485) [3,5].

В Функции системы «Диспетчер» входит: контроль загрузки станков, предотвращение внезапных сбоев и отказов в работе оборудования, контроль и классификация простоев оборудования, контроль энергоэффективности; оповещение ответственных работников о требующих внимания ситуациях на производстве, управление программами УЧПУ, вибродиагностика, контроль трудовой дисциплины персонала, создание единого информационного пространства и переход к цифровому производству [4].

Плюсы установки автоматизированной системы мониторинга:

- Полный контроль над оборудованием и персоналом;
- Автоматизированный сбор данных по основным показателям эффективности;
- Технологическая диагностика оборудования;
- Оперативное оповещение о неполадках.

После перехода на автоматизированную систему мониторинга с автоматизированными датчиками температуры наблюдаются следующий экономический эффект: сокращение внеплановых простоев оборудования, снижение расходов на электроэнергию на 20%, оптимизация работы оборудования и персонала.

Библиографический список

1. Кириллин А. Д. Путь к алмазам [Электронный ресурс] / А.Д. Кириллин // Наука и техника в Якутии. 2002. №1 Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/put-k-almazam>.

2. Крук Е.Е. Современные мотивационные механизмы управления персоналом [Электронный ресурс] / Е.Е. Крук // Экономика и управление. 2007. №4. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-motivatsionnye-mehanizmy-upravleniya-personalom>.

3. Морозов В.В. Автоматическое управление процессами обогащения на основе контроля сортности медно-молибденовых руд [Электронный ресурс] / В.В. Морозов // ГИАБ. 2013. №1. Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomaticheskoe-upravlenie-protsessami-obogascheniya-na-osnove-kontrolya-sortnosti-medno-molibdenovyh-rud>.

4. Аброськин А.С. Применение современных систем автоматизации на открытых горных работах [Электронный ресурс] / А.С. Аброськин // Известия ТПУ. 2015. №12. Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/prime-nenie-sovremennyh-sistem-avtomatizatsii-na-otkrytyh-gornyh-rabotah>.

5. Чикишев Д.В. Ресурсосбережение: современное состояние [Электронный ресурс] / Д.В. Чикишев, Ю.В. Лебедев // Инновации и инвестиции. 2011. №3. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/resursosberezhenie-sovremennoe-sostoyanie>.

УДК 622.831

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗА ПОЯВЛЕНИЙ ГОРНЫХ УДАРОВ НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ГОРНОЙ ШОРИИ

Михно А.Р.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Фрянов В.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: LeGenTaK@yandex.ru*

Представлены результаты анализа эффективности современных средств и методов оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород на крупнейших горнодобывающих предприятиях Горной Шории, осуществляющих разработку железорудных месторождений подземным способом. Рассмотрены основные факторы, влияющие на формирования удароопасного состояния массива.

Ключевые слова: тектонические нарушения, поле напряжений, удароопасность, рудник, геодинамическая безопасность

Увеличение объемов добычи полезных ископаемых подземным способом, и как следствие, неизбежное увеличение глубины ведения горных работ, в первую очередь негативно влияет на геодинамическую обстановку. Возрастает количество проявлений горного давления в динамической форме и увеличивается риск возникновения удароопасных ситуаций [1].

Горная Шория (юг Кемеровской области, Россия) представлена железорудными месторождениями Тельбесского и Кондомского районов, которые расположены в сейсмически активном районе Алтае-Саянской складчатой области, где происходят современные тектонические движения земной коры. К месторождениям Тельбесского района относятся Сухаринское, Те-

мирское и Казское, а к Кондомской группе – Таштагольское и Шерегешевское [2]. Так как Таштагольский и Шерегешский рудники являются наиболее крупными и удароопасными горными предприятиями, в данной работе рассмотрены методы прогноза и предотвращения горных ударов, применяемые на этих предприятиях.

Руды и вмещающие породы Таштагольского и Шерегешевского месторождений имеют большую прочность (до 180 МПа при сжатии) и способны накапливать значительное количество упругой энергии деформаций, что способствует мгновенному, хрупкому их разрушению и возникновению геодинамических событий различной интенсивности.

Динамические проявления горного давления на Таштагольском месторождении начали отмечаться с глубины ведения работ 300 м, а с глубины 600 м возникают толчки, микроудары, горные удары и горно-тектонические удары большой разрушительной силы. На Шерегешском месторождении стреляния горных пород начали проявляться с глубины 300 м, а горные удары с глубины 350 м.

Работы на предприятиях ведутся согласно указаниям по безопасному ведению горных работ на опасных по горным ударам месторождениях, которые разработаны под конкретные условия горных предприятий.

Прогноз степени удароопасности массива вокруг выработок, а также оценка эффективности мер борьбы с горными ударами, осуществляются участками прогноза и предотвращения горных ударов.

Комплекс методов оценки удароопасности на горнорудных предприятиях Горной Шории включает в себя следующие региональные и локальные методы: микросейсмический контроль на базе сейсмостанции; электропрофилирование; подземное электрозондирование; измерение деформаций; керновое бурение; регистрация ЭМИ комплексом «Angel-M» [3].

Визуальные наблюдения за изменением напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород осуществляются ежедневно, инструментальные замеры микросейсмическим методом – круглосуточно, методом регистрации ЕЭМИ и электрометрическим в варианте подземного электрического зондирования – еженедельно (при повышении динамической активности – ежедневно). Результаты мониторинга и инструментальных измерений сейсмостанции, методом регистрации ЕЭМИ, а также смещений пород по глубинным реперам анализируются научными организациями.

На рудниках проводится непрерывный мониторинг динамических проявлений горного давления в пределах шахтного поля микросейсмическим методом. Данный метод хорошо зарекомендовал себя как надежный способ регистрации событий при динамическом проявлении горного давления и позволяет оценить характер геомеханических и геодинамических процессов в пределах шахтного поля [4]. Однако он не обеспечивает прогнозирование начала стадии подготовки динамических явлений из-за невозможности выявления небольших акустических импульсов.

Так, за вторую половину 2021 года на Таштагольском месторождении зафиксировано два динамических проявления горного давления, которые впоследствии были классифицированы как микроудар. В ходе обследования горных выработок после произошедших событий было отмечено нарушение в железобетонной крепи с образованием трещин (рисунок) и вывалом горной породы, а также поднятие рельсового пути на протяжении 15 метров. В результате удара пострадало 3 человека, из них двое – без потери трудоспособности. Потери производства при этом составили около 3 тыс. тонн первичного концентрата.

Перед возникновением микроударов на предприятии были произведены массовые технологические взрывы. В промежутке между взрывом и микроударом фиксировались динамические проявления горного давления в виде стреляний и толчков. При этом явных признаков удароопасности не наблюдалось, категория «Опасно» не устанавливалась. Эксперты, проводившие анализ геотехнической информации, отмечают, что пригрузка произошла мгновенно и существующим комплексом оценки напряженно-деформированного состояния массива такие события спрогнозировать невозможно.



Рисунок 1 – Нарушение железобетонной крепи после микроудара

Выводы:

1. На горнодобывающих предприятиях Горной Шории применяется широкий комплекс методов оценки НДС массива и прогноза возникновения геодинамических событий, который включает в себя визуальные наблюдения за изменением состояния массива, микросейсмический контроль на базе сейсмостанции, подземное электропрофилеирование и электроразондирование; а также регистрацию электромагнитных импульсов комплексом «Angel-M».

2. Несмотря на значительный производственный опыт и большое ко-

личество мероприятий, направленных на предупреждение и предотвращение горных ударов, полностью исключить опасность возникновения геодинамических событий на сегодняшний день не представляется возможным.

3. В этой связи актуальными являются научные исследования, направленные на создание новых способов и средств прогноза предвестников динамических проявлений горного давления. Исследования в этом направлении автором продолжаются.

Библиографический список

1. Семенова, И. Э. Развитие концепции геомеханического обоснования горных работ в удароопасных условиях / И. Э. Семенова, И. М. Аветисян // Горный журнал. – 2022. – № 1. – С. 28-33.

2. Оценка современной геодинамической ситуации Таштагольского железорудного месторождения / Б. Т. Мазуров, Т. В. Лобанова, Т. Е. Елшина, Д. А. Абжапарова // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2021. – Т. 26. – № 4. – С. 24-31.

3. Указания по безопасному ведению горных работ на Таштагольском месторождении, опасном по горным ударам // Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук (ИГД СО РАН), Акционерное Общество «Евраз ЗСМК». - Новосибирск-Новокузнецк, 2021. - 74 с.

4. Лобанова, Т. В. Определение типа сейсмических событий по характеристикам их проявления для прогноза удароопасности месторождений / Т. В. Лобанова, Г. Л. Линдин, С. А. Лобанов // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2017. – Т. 4. – № 2. – С. 98-104.

УДК 622.281/.284

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ АНКЕРНОЙ, РАМНОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ КРЕПИ В УСЛОВИЯХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ШАХТЫ «ЕРУНАКОВСКАЯ-VIII»

Елкина Д.И.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Волошин В.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: yolkinadasha00@gmail.com*

В статье рассматриваются паспорта крепления выработок анкерной, рамной и комбинированной крепью, расчет трудоемкости и рекомендации к выбору оптимального варианта.

Ключевые слова: крепление, анкеры, АСП20В, СВП-22, пневмостойки, швеллер.

Поле шахты «Ерунаковская-VIII» расположено в юго-западной части Ерунаковского геолого-экономического района Кузбасса.

По административному делению шахтное поле входит в состав Новокузнецкого района Кемеровской области. В непосредственной близости находятся деревни Усково, Новостройка, Успенка, Казанково, Ерунаково.

В данный момент шахта «Ерунаковская-VIII» отрабатывает пласт 48. Средняя мощность угольного пласта составляет 2,23 м, природная относительная метаноносность составляет 0-21 м³/т. Основная кровля представлена алевролитом мелкозернистым, алевролитом крупнозернистым и алевропесчаником мощностью 10,0-26,6 м, крепость $f=4-9$, характеризуется как среднеобрушающаяся. Непосредственная кровля сложена алевролитом мелкозернистым мощностью 5,0-8,9 м, крепость $f=4-5$, характеризуется как среднеустойчивая.

Наиболее устойчивая форма выработки – арочная. Но на практике используют редко по причине отсутствия надежного поддержания сопряжение штрека с лавой при помощи секции крепи плоского сечения.

В зарубежной практике получила широкое распространение технология поточного способа проведения выработок. Комбайном КП-21 осуществляется выемка горной массы на протяжении 5-10 м (в зависимости от прочностных свойств пород кровли) и переходят в другой забой, а на место комбайна заезжает самоходная крепежная система Fletcher и начинает устанавливать полимерные анкеры в кровлю и бока выработки.

На данный момент в России применение поточной технологии невозможно реализовать по причине того, что по требованию правил безопасности отставание постоянной крепи от забоя подготовительных выработок должно быть не более 3 м.

Полная механизация установки анкерной крепи в подготовительном забое с применением гидравлических навесных анкероустановщиков чрезвычайно дорогостоящее решение, при повышенном газовыделении неизбежны длительные остановки. Целесообразно рассмотреть возможность установки временной крепи с возведением оставшихся анкеров после прохождения комбайном.

Для того, чтобы выработка на шахте была устойчивой [1], необходимо использовать крепь с анкерами [2-4]. В работе предлагается изменить паспорт крепления в части уменьшения трудоемкости в забое, с помощью пневмостоек и верхняка из СВП-22, верхняка из СВП-22 и двух анкеров, либо с помощью швеллера и трех сталеполимерных анкеров.

Для анализа трудоемкости возведения крепи принимаем базовый вариант – анкерную крепь, где пять анкеров крепится по кровле и шесть анкеров по бокам выработки (рисунок 1). Это стандартное крепление в забое анкерами АСП20В, длина анкера 2,20-2,50 м.

Крепь анкерная АСП предназначена для крепления подготовительных, капитальных и очистных горных выработок при химическом способе закрепления в шпуре стержня анкера.

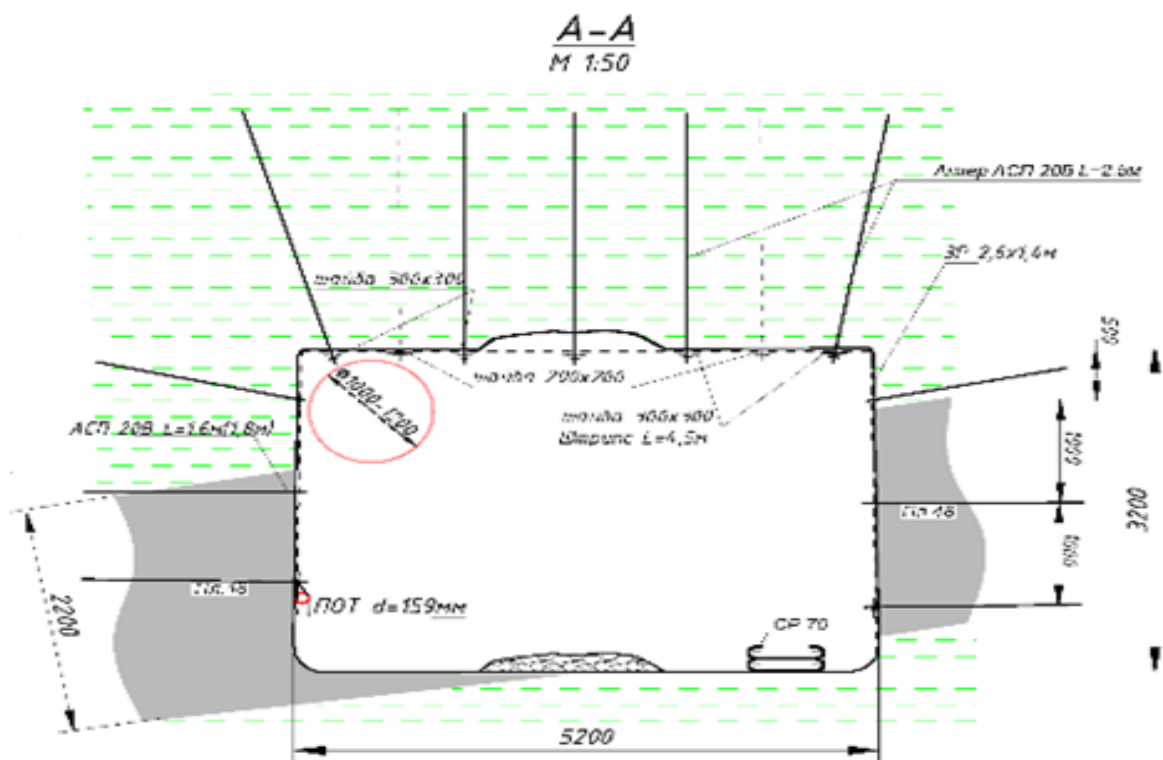


Рисунок 1 – Паспорт крепления выработки пятью анкерами по кровле и шестью анкерами по бокам выработки

Для снижения трудоемкости крепления и сокращения времени проходческого цикла предлагаю первый альтернативный вариант крепления с помощью швеллера и трех сталеполимерных анкеров АСП20В (рисунок 2).

Швеллер используется для устойчивости и сопротивления высоким нагрузкам, способен выдерживать большие осевые нагрузки и противостоять нагрузкам на изгиб. Крепится анкерами по бокам выработки и посередине.

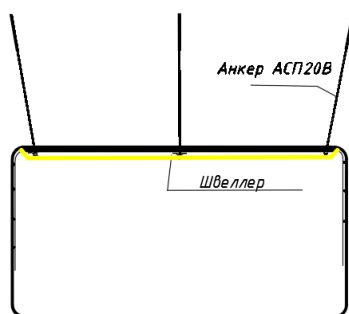


Рисунок 2 – Паспорт крепления швеллера и трех сталеполимерных анкеров АСП20В

В качестве второго альтернативного варианта крепления предлагается в забое устанавливать пневмостойки [5] и СВП-22 (рисунок 3).

Комбинированная крепь из верхняка СВП-22 и отдельных пневмостоек, устанавливаются в выработках на расстоянии 1,0 – 1,2 м одна от другой, благодаря чему, будут препятствовать расслоению боковых пород.

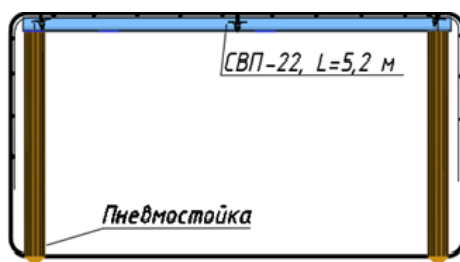


Рисунок 3 – Паспорт крепления двух пневмостоек и СВП-22

Третий альтернативный вариант, где будет происходить крепление с помощью СВП-22 и двух сталеполимерных анкеров АСП20В. СВП-22 крепится в забое с помощью двух сталеполимерных анкеров по бокам, которые будут удерживать кровлю.

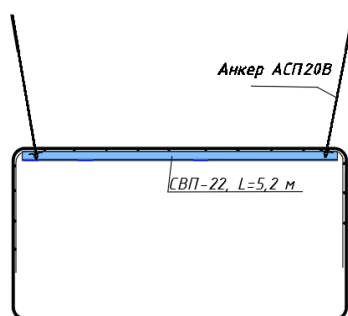


Рисунок 4 – Паспорт крепления СВП-22 и двух сталеполимерных анкеров АСП20В

Рассмотрев все предложенные варианты крепления выработки, следует произвести расчеты трудоемкости по нормировочнику и наглядно показать на диаграмме, какой вариант крепи будет наиболее эффективен, для использования на шахте «Ерунаковская-VIII» (таблица 1, рисунок 5).

Таблица 1 – Расчет трудоемкости всех вариантов

Наименование операции	Норматив	Базов. вариант, мин	1 вариант, мин	2 вариант, мин	3 вариант, мин
Выемка	5,7	63,2	63,2	63,2	63,2
Бурение по породе	63,0	22,9	13,7		9,1
Бурение по углю	141,0	10,2			
Крепление анкерное	45,0	15,0	4,3		
Крепление рам. трапеции	3,1			12,9	9,7
Перетяжка бок. кров. решет.	85,0			9,4	9,4
Итого		111,2	81,2	85,5	91,4
Темпы проведения		242,7	332,7	315,8	295,3



Рисунок 5 – Темпы проведения крепи за счет разных вариантов

Сравнительная оценка вариантов крепления (рисунок 5) показывает, что первый вариант, где используется анкерная крепь, состоящая из швеллера и трех анкеров, является самой оптимальной. При использовании этой крепи темпы проведения горной выработки достигнут 332,7 м/месяц.

Библиографический список

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах» (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 08.12.2020 № 507; зарегистрирован 18.12.2020 № 61587).

2. Применение инновационных технических средств для корректировки существующей методики выбора параметров анкерной крепи горных выработок / С.В. Риб, В.Н. Фрянов, А.Г. Зиганшин, А.С. Петров, Д.М. Борзых, А.М. Никитина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – №3. – С. 354-360.

3. Исследование устойчивости подготовительных горных выработок / В.А. Волошин, С.В. Риб, М.А. Денисов, Е.В. Черешнева, В.С. Риб // Вестник СибГИУ. – 2016. – № 4 (18). – С. 27-31.

4. Сравнительный анализ технологий подготовки выемочного столба при отработке мощного угольного пласта / С.В. Риб, В.В. Микунов, В.А. Волошин // Вестник СибГИУ: сб. науч. ст. – Новокузнецк, 2015. – №1(11). - С. 27–32.

5. Пневматическая стойка [Электронный ресурс] // FindPatent.ru – Режим доступа: <https://findpatent.ru/patent/97/976090.html> (дата обращения: 13.03.2022).

ИСТОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕГАЗАЦИИ ВЫСОКОГАЗОНОСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

**Крестьянинов А.В., Шмаков И.К., Крестьянинова Н.А.
Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Фрянов В.Н.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: Krestyaninov261096@gmail.com*

В статье обозначена проблема внезапных выбросов угольных пластов при подземной разработке угольных месторождений с углублением горных работ. Опыт разработки высокогазоносных угольных пластов во многих странах мира показывает, что внезапные выбросы угля и газа имеют глобальный характер и происходят в различных горно–геологических условиях, однако характер их проявления почти везде одинаковый.

Ключевые слова: метан, внезапный выброс угля и газа, угольный пласт, дегазация, шахта.

Актуальными проблемами технического развития подземной угледобычи являются проявления геодинамических событий, приводящие к нарушениям санитарно-гигиенических параметров шахтной атмосферы и нарушению нормативно-правовой документации угольных предприятий. Эти проблемы в рамках традиционной технологии добычи угля кардинально не решаются, что подтверждается неснижаемым уровнем травматизма, например на шахте «Листвяжная» в 2021 г. Создание новых технологических и технических решений для прогноза и профилактики опасных по внезапным выбросам угля и газа явлений имеет важное значение для угольной отрасли.

В данной статье поставлена цель исторической оценки эффективности применения специальных мер по прогнозу и предотвращению внезапных выбросов угля, породы и газа.

Для достижения поставленной цели предлагается использовать результаты решения следующих задач.

Провести анализ истории проявлений внезапных выбросов угля, породы и газа в России и за рубежом.

Определить особенности мирового опыта повышения эффективности применения способов дегазации высокогазоносных угольных пластов.

Неконтролируемый взрыв или возгорание метано-воздушной смеси является причиной аварии. Необходимо отметить, что основная доля внезапных выбросов относится к начальному периоду развития подземной разработки угольных месторождений во всех угледобывающих странах. На первых введённых в эксплуатацию шахтах отрабатывали верхние горизонты, и горные работы начинались на небольшой глубине. На новых шахтах месторождения внезапные выбросы начинались примерно на той же глубине, что и на соседних шахтах. Однако никто не связывал происхождение этих вы-

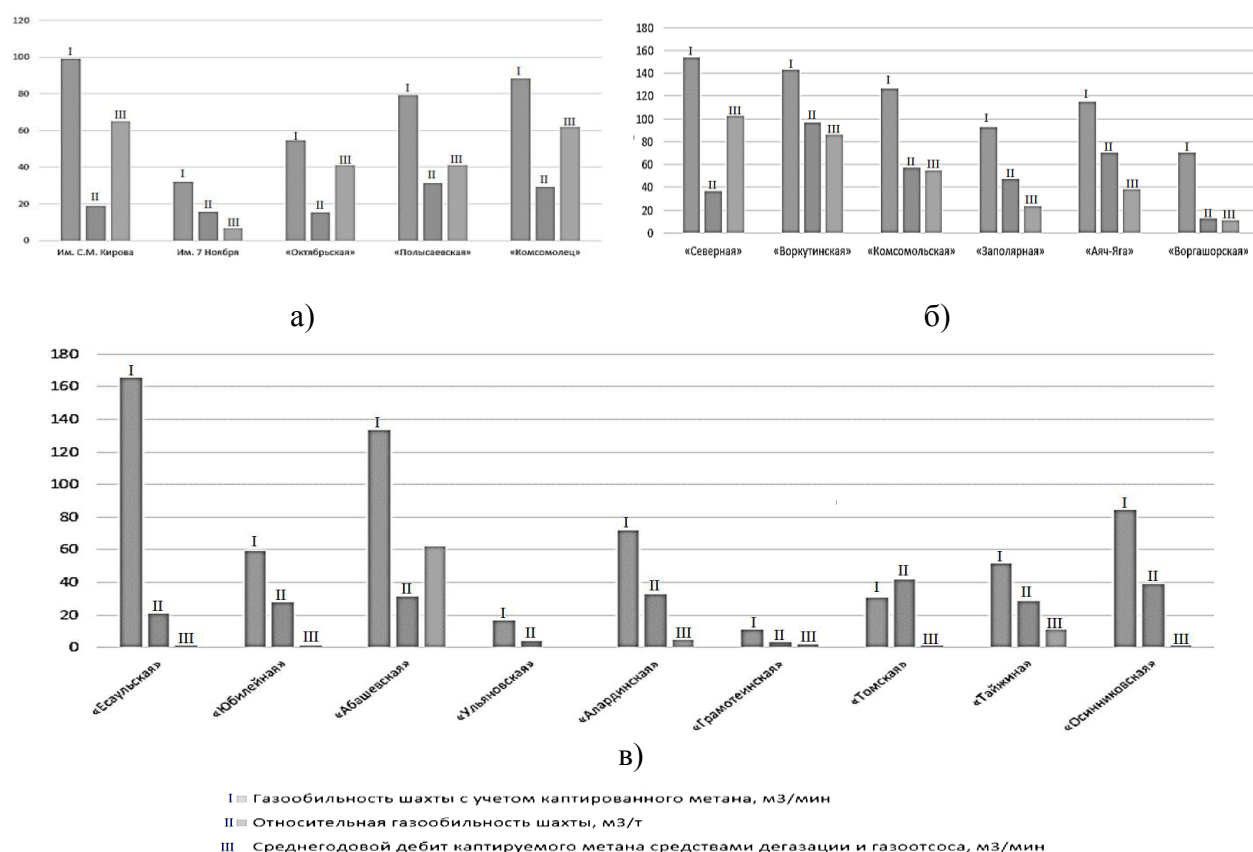
бросов с таким геологическим фактором, как идентичность условий формирования участков пласта или пластов [1].

Первые внезапные выбросы произошли в середине XIX в. во Франции, в Канаде, Германии, Англии, Венгрии. Затем они произошли во всех бассейнах и месторождениях при выемке каменных углей. В 468 шахтах 20 зарубежных стран при подземной добыче газоносных углей произошло около 30 тысяч выбросов, в том числе в КНР и Франции – 20,8 тысяч. При выбросах погибло свыше 35 тысяч человек [2].

Динамические явления случаются во время выполнения различных технологических процессов при глубине разработки более 50 м [3].

В зонах геологических нарушений на шахтах бывшего СССР произошло 80-90 % выбросов, в КНР - свыше 67 %, в Испании - 60- 65 %, в Японии и Чехии – 70 %, в Германии – 75%. Однако выбросы происходили и на большом расстоянии от геологических нарушений [4].

В РФ 78 % действующих шахт отнесены к опасным по метану, из них 45% шахт являются наиболее метанообильными и 20% работают с дегазацией угольных пластов и выработанных пространств. Сведения о газообильности шахт, их категоричности по метану, состояние дегазационных работ для перспективных шахт РФ представлены на рисунке 1 [5].



а) АО «СУЭК-Кузбасс», б) АО «Воркутауголь» в) АО «Южжубассуголь»

Рисунок 1 Газообильность перспективных шахт Кузбасса и Воркуты

Все технологические схемы подготовки и отработки газоносных пластов угля предусматривают применение дегазации сближенных пластов и выработанного пространства, а дегазацию разрабатываемых пластов – при метанодности пласта $13 \text{ м}^3/\text{т}$ с.б.м. и выше [6].

В работе [7] анализируется эффективность дегазационных систем на шахтах Кузбасса и отмечается, что, несмотря на частые случаи успешного применения дегазации, остаются проблемы, связанные с формальным подходом к дегазации, низким качеством бурения и герметизации скважин.

На шахтах Кузбасса за исключением средств дегазации в больших объемах используют гозоотсасывающие вентиляторные установки преимущественно наземного размещения. В первом случае извлекаются концентрированные по метану газовоздушные смеси, пригодные для утилизации, во втором – смеси, обедненные с метаном и выбрасываемые в атмосферу [8].

За рубежом широко применяется также способ дегазации разрабатываемых пластов при проведении пластовых горных выработок (Австралия, Канада, КНР, США, Франция, Япония). Например, на шахте «Курьер» (Франция) при проведении штреков по тонким пластам антрацита при помощи 13–30 дегазационных скважин диаметром 115 мм и длиной 21 м в одной выработке каптировали в течение 10–30 сут до $7 \text{ м}^3/\text{мин}$ или в среднем $2 \text{ м}^3/\text{т}$ запасов угля в дегазируемой зоне [9].

На высокометанообильной ($150\text{--}190 \text{ м}^3/\text{т}$) шахте «Сакито» (Япония), разрабатывающей пологие пласты мощностью 3 м под морским дном, дегазация пласта при проведении штреков и уклонов производится скважинами длиной 6–50 м. Эффективность дегазации за 6 месяцев достигала 70%. На шахте при проведении штреков по мощному крутому ($45\text{--}50^\circ$) пласту дегазационные скважины бурили из ниш, устраиваемых через 30 м. Диаметр скважин 55 мм, длина 50 м. При бурении из каждой ниши по три скважины и сроке дегазации 3 месяца дебит каптированного скважинами из одной ниши метана составил 100 тыс. м^3 , а эффективность дегазации проводимого штрека – 60–65% [10].

Зарубежный опыт дегазации газообильных выемочных участков на примере шахты «Тауэр» (Австралия) свидетельствует о том, что ежегодно бурят 60 км дегазационных скважин. На шахте «Тауэр» при отработке пласта мощностью 3–3,5 м осуществляется предварительная дегазация разрабатываемого и текущая дегазация надрабатываемого пластов. Используют буровые установки направленного бурения пластовых скважин, длина которых достигает 1000–1400 м. Дегазационной системой извлекается 120–140 $\text{м}^3/\text{мин}$ метана. Каптируемая смесь с концентрацией метана 50–60% используется для выработки электроэнергии [11].

В США на шахте «Федерал» применялась дегазация пласта «Питтсбург» направленными скважинами с поверхности. Вертикальные скважины бурились до глубины 300–350 м, а затем из их забоев бурили по пласту веер из трех скважин суммарной длиной до 2000 м. Среднесуточный дебит метана

в течение 880 суток составил 44 тыс. м³ при общих капитальных и эксплуатационных расходах около 1,5 млн. долларов США и извлечении за год 9,2 млн. м³ метана, на каптаж 1000 м³ затрачено 2,05 доллара. Затраты на бурение и оборудовании скважин окупились за 4 года. Эффективность дегазации выемочного участка составила около 40% [12].

В КНР на антрацитовой шахте “Янцюань” (провинция Шаньси) при разработке свиты пологих пластов мощностью от 0,8 до 11 м и общешахтном выделении метана 240 м³/мин для дегазации заполненных метаном карстовых пустот бурили скважины с поверхности глубиной до 400 м с расстоянием между соседними скважинами 50-70 м. Дебит каптированного метана составил 30-33 м³/мин, что обеспечило эффективность дегазации карстовых пород до 80-85%. За 25 лет было извлечено 360 млн. м³ метана (в среднем 39 тыс. м³/сутки) [13].

Опыт американских и австралийских компаний показывает преимущество заблаговременной дегазации скважинами с поверхности в сравнении с дегазацией подземными скважинами. Вместе с тем в КНР и Австралии применяются также комбинированные схемы заблаговременной и текущей дегазации с эффективностью каптирования метана до 80 %.

Таким образом, для улучшения условий труда и безопасности отработки высокогазоносных угольных пластов, а также повышения темпов горно-проходческих работ должны выполняться ряд профилактических процессов, среди них бесперебойное и интенсивное проветривание горных выработок с применением дополнительных вентиляционных установок, текущая, предварительная и заблаговременная дегазации угольных пластов в зависимости от горнотехнических и горно-геологических условий предприятия, прогноз и мониторинг абсолютной и относительной метанообильности шахты. Соблюдение приведенных мероприятий, как показывает практика, с большей вероятностью повысит уровень безопасности проведения подготовительных выработок и очистных работ на угольных пластах опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа.

Библиографический список

1. Предварительный и оперативный прогноз допустимых нагрузок на очистной забой при интенсивной отработке газоносных угольных пластов / С.В. Сластунов [и др.] // Уголь. – 2015. – №3. – С. 32-37.
2. Ходот В. В. Внезапные выбросы угля и газа [Текст]: учеб. пособие / В.В. Ходот. - М.: Госгортехизат, 1961. - 363 с.
3. Петухов И.М. Механика горных ударов и выбросов [Текст]: учеб. пособие / И. М. Петухов, А. М. Линьков. – М.: Недра, 1983. - 279 с.
4. Справочник маркшейдера: в 3 – ч. [Текст] / Г.П. Жуков [и др.] – М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2015. – 440 с.
5. Концептуальные подходы к обеспечению метанобезопасности угольных шахт России и СНГ на 2007-2010 гг. / Л.А. Пучков [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – №S13. – С. 9-36.
6. Методология выбора типовых технологических схем подготовки и

отработки метаноносных угольных месторождений / А.Д. Рубан, В.Н. Захаров, В.С. Забурдяев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – №S1. – С. 356-370.

7. Предварительная дегазация пласта и перспективы применения ориентированного гидроразрыва / Р.И. Родин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – №6. – С. 265-270.

8. Проблемы разработки метаноносных угольных пластов в Кузнецком угольном бассейне. – М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. – 463 с.

9. Угольный метан: перспективы добычи и использования. – URL: http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=6483&cat_id=7&page_id=1 (дата обращения: 08.04.2022).

10. Красик В.Ю. Угольная промышленность за рубежом. – М.: Горная промышленность, 1993. – 34 с.

11. Метан в шахтах и рудниках России: прогноз, извлечение и использование / А.Д. Рубан, В.С. Забурдяев, Г.С. Забурдяев, Н.Г. Матвиенко. – М.: ИПКОН РАН, 2006. – 312с.

12. Зарубежный опыт промысловой добычи угольного метана и ее перспективы в кузнецком бассейне / В.С. Забурдяев // Уголь. — 2003.— №2 (922). – С. 21-24.

13. Перспективы промышленного извлечения угольного метана / Л.А. Пучков, С.В. Сластунов, Г.М. Презент // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – №6. – С. 6-10.

УДК 622.232

РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННЫХ ВАРИАНТОВ КРЕПЛЕНИЯ ВЫРАБОТОК, ПРОЙДЕННЫХ ПО ПОЧВЕ МОЩНОГО ПОЛОГОГО ПЛАСТА В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ «СИБИРГИНСКАЯ»

Тайлаков А.О.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Волошин В.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: aleksandr_tailakov@bk.ru*

В данной статье рассматриваются варианты крепления горных выработок, а также расчеты темпов проведения при различных способах крепления.

Ключевые слова: крепление, винтовые анкеры, СВП, анкероустановщик, мониторинг.

В настоящее время на шахте «Сибиргинская» (Кузбасс) производится отработка запасов пласта III средней мощностью 7,16-9,63 м и с углами падения 6-8°. Учитывая, что пласт III склонен к самовозгоранию, возникает необходимость в высоких темпах проведения оконтуривающих выемочный столб горных выработок.

В практике проведения горных выработок на угольных шахтах сегодня в большинстве случаев используются два основных вида крепления [1-6]:

- рамная арочная крепь из СВП;
- анкерное крепление с усилением канатными анкерами.

Проанализировав эти два способа крепления горных выработок было выявлено, что основным сдерживающим фактором является низкая механизация работ, а также большое количество операций по креплению непосредственно в забое выработки, в связи с этим предлагается внедрение следующих инновационных способов крепления.

1. Постадийное крепление проходческого забоя винтовыми анкерами (рисунок 1). Сущность данного способа крепления заключается в следующем: на первом этапе проходческий комбайн проходит один метр выработки, после чего непосредственно в забое происходит крепление на два винтовых анкера в кровлю выработки с затяжкой под металлическую решетку и усилением двумя канатными анкерами, что обеспечит необходимую устойчивость кровли для дальнейшего ведения проходческих работ.

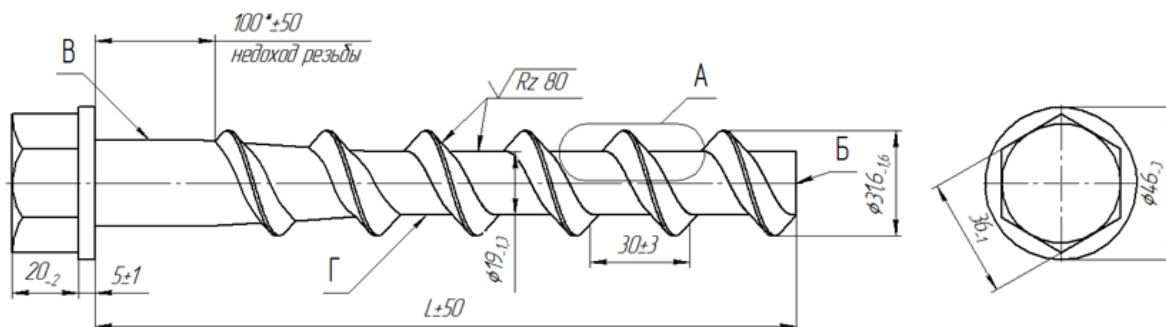


Рисунок 1 – Техническая схема винтового анкера

Вторым этапом производится крепление кровли и бортов выработки за комбайном с применением самоходного анкероустановщика Fletcher (рисунок 2).



Рисунок 2 – Самоходный анкероустановщик Fletcher HDDR

Усиление кровли канатными анкерами производится с выходом во второй слой пород не менее чем на один метр, борта выработки также крепятся на винтовые анкера.

Преимущество винтового анкера в том, что сокращается время на бурение шпуров, так как анкер устанавливается в выработку без предварительного бурения шпура под него.

Для отслеживания напряженно-деформированного состояния массива, предлагается внедрение средств мониторинга в виде сейсмических датчиков ZETLAB 7156, а также георадара ОКО-2.

С помощью данных приборов можно будет отслеживать и заранее прогнозировать опасные участки ведения работ для принятия решения о необходимости временного отступления от данного вида крепления к более традиционному с полным креплением выработки непосредственно в забое.

В результате выполнения расчетов по данному способу крепления, темпы проведения выработки составили 311 метров, а технологическое время цикла операций составило 86 минут.

2. Вторым предлагаемым способом является крепление выработки рамой СВП на канатные анкеры (рисунок 3).

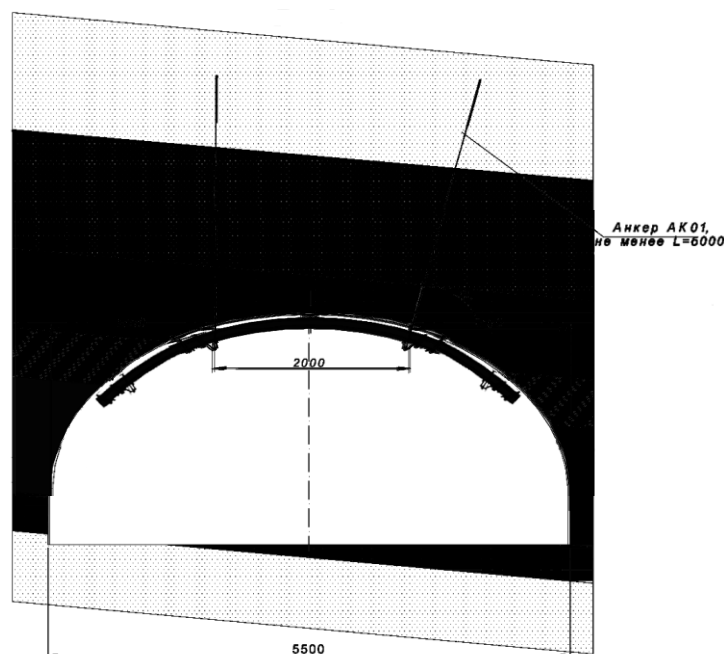


Рисунок 3 – Схема крепления кровли выработки непосредственно в забое

Сущность данного способа заключается в следующем: проходится один метр выработки, после чего непосредственно в забое производится крепление кровли рамой СВП на 2 канатных анкера, остальные процессы технологического цикла одинаковы с рамным арочным креплением за исключением того, что крепление бортов выработки будет производиться за комбайном, а не непосредственно в забое. Бурение канатных анкеров в кровлю предлагается производить с помощью переносной пневматической буровой установки Rambor.

В результате выполнения расчетов по данному способу крепления,

темпы проведения выработки составили 354 метра, а технологическое время цикла операций составило 76 минут.

Результаты расчетов темпов проведения выработок приведены в сводной таблице 1.

Таблица 1 – Темпы проведения выработок

Наименование операции	Норматив	Рамная арочная крепь, мин	Анкерная крепь с усилением, мин	Винтовые анкеры, мин	Рама СВП с двумя канатными анкерами, мин
Выемка	9,8	50,3	36,6	36,6	36,6
Бурение по породе	47,0				
Бурение по углю	141,0		22,5	11,2	
Крепление анкерное	45,0		15,0	9,0	
Канатный анкер	15,0		30,0	30,0	30,0
Крепление рамное арочное	2,2	54,5			
Крепление рамное трапеции	3,1				9,7
Перетяжка боков кровли решеткой	85,0	28,3			
Итого, мин		133,2	104,1	86,8	76,3
Темпы проведения, м		162,2	259,5	311,0	354,0

Таким образом, предложенные варианты крепления винтовыми анкерами и рамой СВП с двумя канатными анкерами позволят увеличить темпы проведения горных выработок от 52 до 95 метров по сравнению с анкерной крепью и на 149-192 метра по сравнению с рамной арочной крепью.

Библиографический список

1. Разработка технико-технологических решений по повышению темпов проведения подготовительных выработок в условиях «Шахты «Алардинская» / С. А. Савченко, В. А. Воронков, А. М. Никитина, С. В. Риб, Д. М. Борзых // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13-15 июня 2018 г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2018. – Вып. 22. – Ч. 2 : Естественные и технические науки. – С. 56-60.

2. Сравнительный анализ технологий подготовки выемочного столба при отработке мощного угольного пласта / С.В. Риб, В.В. Микунов, В.А. Волошин // Вестник СибГИУ: сб. науч. ст. – Новокузнецк, 2015. – №1(11). - С. 27–32.

3. Современные технологии двухуровневого анкерного крепления / П.В. Гречишкин, Е.А. Разумов, Д.Ф. Заятдинов и др // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2016. - №10. - С. 182-200.

4. Опыт применения канатных анкеров с повышенной несущей способностью в условиях ООО «Шахта «Осинниковская»» / А.А. Дудин, Е.В. Вахрушев, С.Е. Злобин и др // Уголь, 2020. - №3. - С. 34-37.

5. Установление параметров анкерного крепления в зависимости от горно-технологических условий эксплуатации выработок / С.Б. Алиев, В.Ф. Демин, В.В. Яворский и др // Уголь, 2013. - №1. - С. 69-72.

6. Применение инновационных технических средств для корректировки существующей методики выбора параметров анкерной крепи горных выработок / С.В. Риб, В.Н. Фрянов, А.Г. Зиганшин, А.С. Петров, Д.М. Борзых, А.М. Никитина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – №3. – С. 354-36

УДК 622.2.012:004.9

ВНЕДРЕНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ НЕГАТИВНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА АО РАЗРЕЗ «МЕЖДУРЕЧЬЕ»

Апёнкин Д.Е.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Волошин В.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: denisden2002@gmail.com*

Проведена работа по оценке влияния сейсмического действия ударно-воздушной волны на ближайшие объекты при ведении взрывных работ на участке открытых горных работ АО Разрез «Междуречье».

Ключевые слова: буровзрывные работы, программное обеспечение по буровзрывным работам, скважинный заряд, безопасность БВР.

Горнодобывающая промышленность является одним из источников техногенного воздействия на окружающую среду. В России, как и во всём мире, проводится очень большое количество достаточно крупных массовых взрывов, особенно при ведении открытых горных работ. Например, только на разрезе «Междуречье» ежегодно производится около 50 крупных (более 250 т) взрывов в год. Среди факторов, определяющих влияние горнодобывающего производства на геологическую среду, одно из первых мест по значимости занимает сейсмика взрывов. К настоящему времени, как у нас в стране, так и за рубежом выполнен большой объем экспериментальных и теоретических работ, посвященных изучению сейсмического эффекта коротко замедленного взрыва. Однако, остается ряд вопросов, требующих дальнейшего рассмотрения. Массовый промышленный взрыв на карьере является весьма сложным событием. В процессе такого взрыва короткозамедленным способом подрывается большое число скважин. Причем, с целью снижения сейсмического эффекта и повышения продуктивности работ, при массовом взрыве от-

рабатывается поочередно несколько отдельно расположенных блоков [1, 5].

Принципиальным недостатком используемого регламента сейсмической безопасности зданий и наземных сооружений при массовых промышленных взрывах является то, что нормируется не сейсмическая реакция защищаемого объекта, а только нагрузка на фундамент здания. Многообразие конструктивных форм объектов и значительное разнообразие динамических характеристик и условий работы последних, не позволяет дать для них надежную количественную оценку напряженно-деформированного состояния от сейсмической составляющей взрывного воздействия. Многолетние сейсмологические исследования на объектах угольной и горнорудной промышленности, проводимые специалистами СибГИУ показали, что фактические сейсмические воздействия могут достигать уровня 5-6 баллов по шкале МСК. Данный уровень интенсивности воздействия уже требует оценки несущей способности с учетом сейсмических нагрузок.

Специалистами и руководителями разреза «Междуречье» определены основные задачи для оптимизации буровзрывных работ на предприятии [6]:

- выбор оптимальных параметров буровзрывных работ, обеспечивающих как качественные показатели гранулометрического состава горной массы, так и максимальное снижение негативного воздействия от массового взрыва;

- применение новейших технологий буровзрывных работ, влияющих на снижение выбросов вредных продуктов взрыва, снижение влияния сейсмического воздействия и действия ударно-воздушной волны;

- осуществление постоянного мониторинга негативного воздействия, в том числе замер скорости смещения грунта в основаниях охраняемых объектов и избыточного давления на фронте ударно-воздушной волны от действия массовых взрывов, а также других факторов негативного воздействия.

Все это осуществляется при условии достижения плановой производительности горно-выемочным оборудованием и достижения качественных показателей взорванной горной массы [2].

К применяемым и доказавшим свою эффективность технологиям, влияющим на снижение негативного воздействия от массового взрыва на окружающую среду, относятся [4, 5]:

- применение комплекса оборудования и специального программного обеспечения для проектирования буровзрывных работ;

- применение метода предварительного осушения скважин;

- применение специальных устройств, предназначенных для формирования скважинных зарядов.

Для снижения влияния «человеческого фактора» и повышения качества при проектировании буровзрывных работ специалисты АО «Междуречье» в течение двух лет прорабатывали вопрос о возможности приобретения программного обеспечения по буровзрывным работам. Проводились технические совещания с представителями фирм-разработчиков программ-

ного обеспечения. Проектирование буровзрывных работ с использованием программного обеспечения позволяет решать такие задачи, как:

- проектирование взрывных работ в формате 3D, включающее в себя расчет необходимых параметров БВР (массы скважинного заряда, конструкции заряда, выбор схем монтажа взрывной сети и т.д.);
- 3D-моделирование карьерного поля с возможностью анализа каждого взрыва (рисунок 1);
- прогнозирование траектории разлета и развала горной массы;
- прогнозирование гранулометрического состава взорванной горной массы при проектировании, сравнительный анализ с фактическим результатом, дальнейшая корректировка параметров БВР;
- прогнозирование скорости смещения грунта в основании охраняемых объектов;
- производство расчета безопасных расстояний.

На рисунке 1 представлена модель карьерного поля, созданная в режиме 3D моделирования для определения наиболее оптимальных параметров ведения буровзрывных работ, заложения скважины с учетом геологических особенностей представленного блока [2].

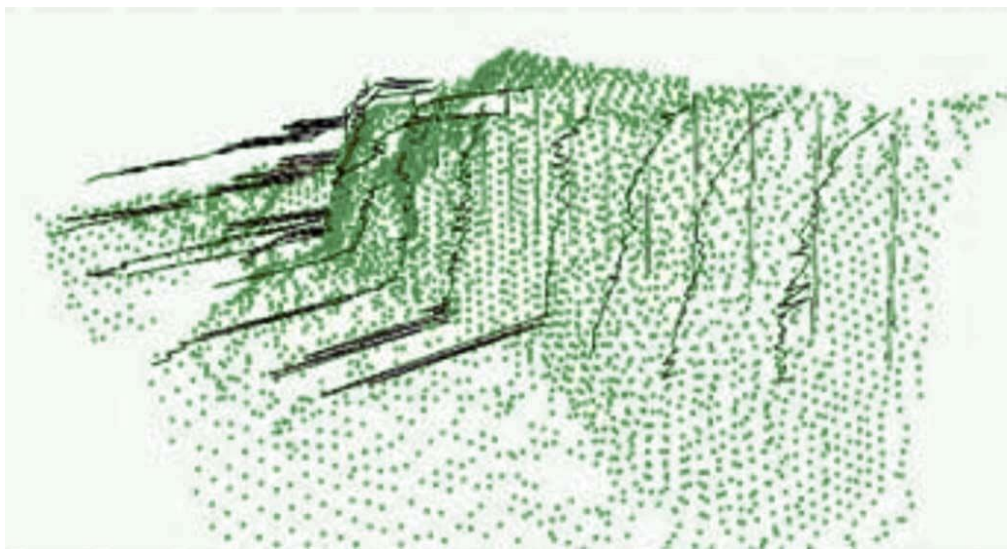


Рисунок 1 – 3D-модель карьерного поля [2]

Особое внимание при расчете безопасных расстояний на разрезе «Междуречье» уделяется сейсмическому воздействию на близлежащие сооружения и дома в населённых пунктах. Используя данную технологию, основанную исключительно на физических процессах, программное обеспечение БВР преобразует данные, полученные от предыдущих взрывов, и производит перерасчет необходимых интервалов замедлений между взрываемыми скважинами, позволяет максимально снизить сейсмическое воздействие последующих взрывов на жилой сектор населённых пунктов пригорода г. Междуреченск.

В целях совершенствования ведения буровзрывных работ главным

инженером АО «Междуречье», совместно с технической службой предприятия и НИИ «ВостНигри» было предложено использовать специальное устройство для формирования скважинного заряда «Рукав зарядный универсальный» (РЗУ) [6]. Особенностью применения данного устройства является возможность формирования скважинного заряда взрывчатого вещества, диаметром менее диаметра забуренной скважины (рисунок 2).

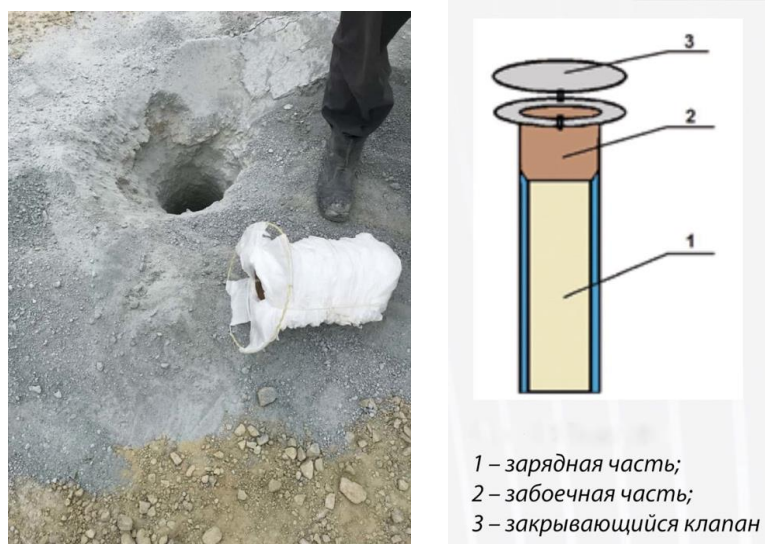


Рисунок 2 – Применение рукава зарядного универсального (РЗУ) [6]

Таким образом, при использовании РЗУ создается кольцевой воздушно-водный промежуток между зарядом взрывчатого вещества в рукаве и стенками скважины. Не расходуется энергия взрыва на переизмельчение горной массы в ближней от заряда части (до 8 диаметров скважины), увеличивается коэффициент полезного действия взрыва. Кроме этого, учитывая, что диаметр забоечной части больше диаметра зарядной части, увеличивается сопротивление забоечного материала распространению энергии взрыва, что также повышает коэффициент полезного действия взрыва [3].

Результаты мониторинга сейсмического воздействия взрывов в конкретных горно-геологических условиях с учетом нахождения охраняемых объектов в непосредственной близости от ведения работ образуют базу данных. На основании полученных результатов в программном комплексе идет построение регрессивной прямой, что позволяет при дальнейшем проектировании взрываемых блоков наиболее точно прогнозировать сейсмическое воздействие на тот или иной охраняемый объект.

В условиях разреза «Междуречье» проведена работа по оценке влияния сейсмического действия ударно-воздушной волны на ближайшие объекты при ведении взрывных работ на участке открытых горных работ. По результатам проведенного эксперимента выявлено, что скорость смещения грунта в одних и тех же точках при использовании разных паспортов отличается на 10–12%.

На рисунке 3 представлены результаты мониторинга при ведении массовых взрывов, которые подтверждают выбранные оптимальные параметры взрыва по сравнению с ранее существующими [6].

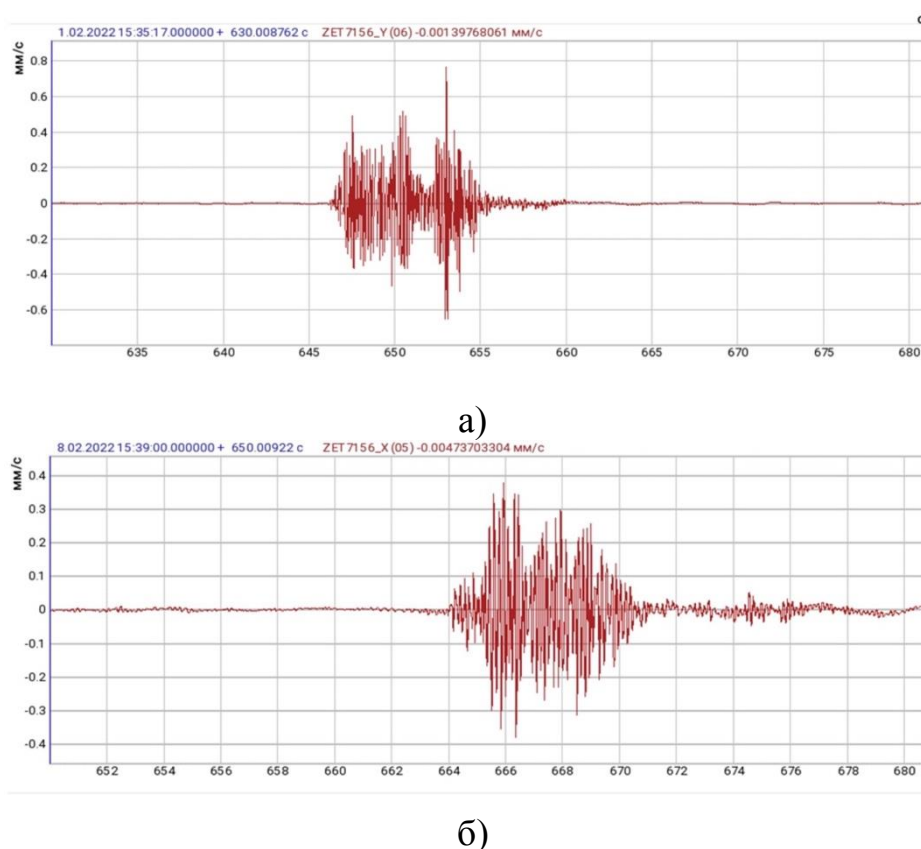


Рисунок 3—Результаты замеров до а) и после б) применения предложенных технологий РЗУ [6]

В настоящее время «Рукав зарядный универсальный» эффективно применяется на разрезе АО «Междуречье», снижая массу скважинного заряда, объем применения взрывчатых веществ на блоках, а также негативное воздействие от производства массовых взрывов [6].

В период 2020-2022 гг. на АО «Междуречье» были проведены экспериментальные взрывы, с использованием РЗУ и получена экспертиза промышленной безопасности, согласно которой применение данного устройства позволяет:

- снизить негативное сейсмическое воздействие от массового взрыва, учитывая уменьшение массы скважинного заряда;
- уменьшить массу взрывчатых веществ на взрываемом блоке, не уменьшая объем взорванной горной массы;
- снизить разлет отдельных кусков породы и ударно-воздушное действие взрыва;
- снизить удельный расход взрывчатых веществ до 28%.

Библиографический список

1. Клебанов А.Ф. Перспективные решения в автоматизации открытых горных работ / А.Ф. Клебанов, А.В. Бондаренко // Сборник тезисов докладов IV Международной научнопрактической конференции «Техгормет-21 век», СПб.: НМСУ «Горный», 2013. - С.38 - 44.

2. Методические основы организации привлечения инноваций для решения эколого-экономических задач в современных условиях / В.И. Ефимов, С.М. Попов, П.М. Федяев // Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Повышение качества образования, современные инновации в науке и производстве» (г. Экибастуз, 16-18 апреля 2015 г.). Прокопьевск: Филиал КузГТУ в г. Прокопьевске, 2015. - С. 120-122.

3. Эколого-экономическая оценка эффективности разработки месторождений открытым способом / В.И. Ефимов, В.В. Перников, В.А. Харченко // М.: МГГУ, 2011. - 90 с.

4. Производство и окружающая среда / Л.В. Рыбак, В.И. Ефимов // М.: МГГУ, 2012. 301 с.

5. Рыбак Л.В. Экология и экономика природопользования / Л.В. Рыбак // М.: МГГУ, 2012. 365 с.

6. Отчеты о ведении сейсмического мониторинга массовых взрывов за октябрь 2021 – февраль 2022, АО разрез «Междуречье».

УДК 622.2.012:004.9

РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ВЛИЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ СОЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Апёнкин Д.Е.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Волошин В.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: denisden2002@gmail.com*

В представленной статье приведены результаты натурных измерений от воздействий массовых взрывов на поверхность при отработке АО «Междуречье» открытым способом, значение максимальных скоростей колебания земной поверхности в жилой зоне и зоне технических построек.

Ключевые слова: массовый взрыв, сейсмические колебания, амплитуда, сейсмограмма, допустимые скорости колебаний.

Открытый способ добычи угля получил широкое распространение. При данном способе очень высокая производительность труда – за счёт более свободной рабочей зоны и возможности использования сверхмощной техники.

Воздействие на окружающую среду в основном определяется послед-

ствиями открытых горных работ как непосредственно в процессе их проведения, так и после завершения. На угольных разрезах в настоящее время остается востребованным способ разрушения коренных горных пород с использованием энергии взрыва. Данные проявления являются предметом промышленной безопасности и подлежат непрерывному контролю, начиная со стадии проектирования буровзрывных работ, с последующим мониторингом за интенсивностью их проявления и разработкой мероприятий либо по снижению до допустимых норм, либо вплоть до их исключения [1-7]. Самая сложная ситуация сейчас в центре угледобычи — Кузбассе, где не угасает довольно жесткий конфликт между местным населением и угольными предприятиями.

С увеличением количества угольных разрезов в Кузбассе и ростом объемов вскрышных работ, в том числе и объемов взрывааемых ВВ, а также с учетом приближения этих работ к населенным пунктам и другим важным объектам существенную опасность, в числе прочих, представляет негативное сейсмическое воздействие массовых взрывов [7,8].

На основании обращений разрезов юга Кузбасса за последние два года осуществляется мониторинг уровня сейсмического воздействия на охраняемых объектах при производстве массовых взрывов на горных отводах ООО «Разрез Междуреченский». Измерения проводились специалистами ФГБОУ «СибГИУ» (г. Новокузнецк) проектной документации на массовые взрывы и разработкой, при установлении несоответствия требованиям безопасности, рекомендаций по корректировке параметров БВР, обеспечивающих безопасность по этому проявлению.

Регистрация сейсмических колебаний земной поверхности основана на записи цифровых короткопериодных сейсмометров на персональный компьютер (ПК). Переносная сейсмостанция включает: виброметр интеллектуальный цифровой ZET 7156 (рисунок 1), - интеллектуальный преобразователь интерфейса USB↔CAN ZET 7174. Технические характеристики, которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики виброметра интеллектуального цифрового ZET 7156

Наименование	Величина по ТУ
Измеряемая физическая величина	Виброскорость
Количество осей	3 (X, Y, Z)
Частотный диапазон чувствительного элемента	от 0,3 до 500 Гц
Выдаваемые значения	Мгновенные
Диапазон измерений	от 0,0005 до 500 мм/с
Частота оцифровки данных	50, 100, 200, 500, 1000 Гц
Интерфейс передачи данных	CAN 2.0
Скорость обмена	100, 300, 1000 кбит/с
Габаритные размеры	140×50×24 мм
Масса	500 г

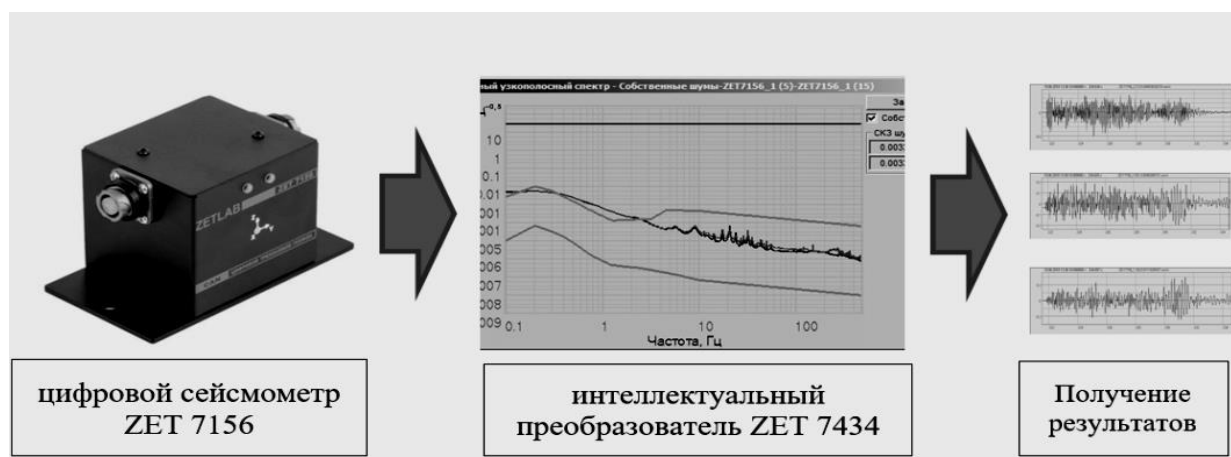


Рисунок 1 – Блок – схема методики регистрации сейсмических колебаний с применением цифрового сейсмометра ZET 7156.

В таблице 1 представлены замеры результатов скорости смещений при мониторинге сейсмического воздействия массового взрыва на разрезе Междуречье в периоде 2021-2022 года.

Таблица 1 – Величина максимальной скорости колебаний грунта

Дата регистрации	Масса ВВ, кг	Расстояние, м	Модуль скорости колебаний, см/с
04.01.2022	254250	1540	0,042
05.01.2022	172300	2420	0,028
11.01.2022	256550	1640	0,040
	155000	1930	0,028
13.01.2022	237040	3540	0,021
	205250	1000	0,054
17.01.2022	239920	1700	0,035
19.01.2022	255500	1520	0,043
26.01.2022	255800	1660	0,035
01.02.2022	184600	1830	0,031
	254600	1920	0,034
08.02.2022	130650	2080	0,026
	95700	2440	0,014
14.02.2022	131400	2530	0,027
	249535	2300	0,020
18.02.2022	247550	1990	0,032
21.02.2022	191800	2430	0,024
25.02.2022	206100	2080	0,029
	228200	2250	0,025

Величина максимальной скорости колебаний грунта составляла до 0,054 см/с, что существенно меньше предельно допустимого значения 2 см/с. Расстояние до массового взрыва составляло от 1000 до 3540 м и масса заряда

во взрыве изменялась от 95 700 до 256 550 кг.

Скорость колебаний земной поверхности от массовых взрывов U , см/с определяется по формуле:

$$U = K_1 * K_2 * K_3 * \frac{\sqrt[3]{Q}}{R}, \quad (1)$$

где K_1, K_2, K_3 – эмпирические коэффициенты, зависящие от свойств пород в месте взрыва, паспорта БВР и свойств взрывчатых веществ, характера сейсмической активности района;

Q – масса заряда массового взрыва, кг;

R – расстояние от места взрыва до места замеров, м.

Скорость колебаний определялась по модулю значений вертикальной и горизонтальной плоскости:

$$U_m = \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2}, \quad (2)$$

где U_x, U_y, U_z – зафиксированные значения скорости колебаний грунта в горизонтальной и вертикальной плоскости по оси X, Y, Z в месте замера при регистрации массового взрыва.

На рисунке 2 представлена номограмма определения вероятной скорости колебаний земной поверхности по модулю значений в зависимости от массы ВВ массового взрыва и удаления от границ взрыва.

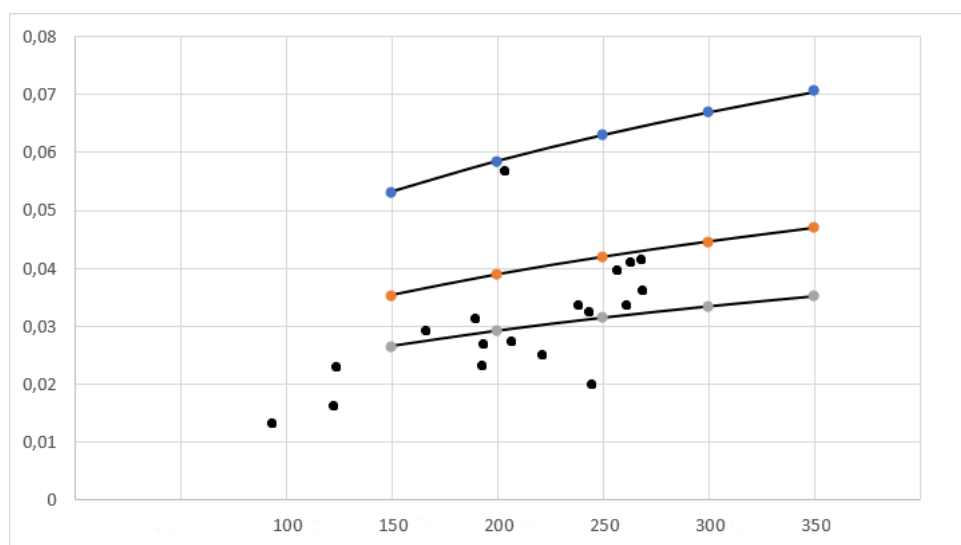


Рисунок 2 – Номограмма определения скорости колебаний в местах замеров в зависимости от объема ВВ при массовом взрыве

В ходе анализа ведения взрывных работ на разрезе «Междуреченский» установлены следующие зависимости:

- с увеличением абсолютного расстояния до взрыва максимальная скорость сейсмических колебаний экспоненциально уменьшается;
- с увеличением абсолютной массы ВВ во взрыве максимальная скорость сейсмических колебаний увеличивается.

Полученные зависимости не противоречат общепринятым положениям

и соответствуют теоретическим представлениям сейсмических колебаний от взрывов.

Из построенной номограммы влияния расстояния и объема взрывчатых веществ при ведении массовых взрывов на близлежащие здания и сооружения установлены следующие зависимости:

1. Максимальная скорость сейсмических колебаний с увеличением абсолютной массы и уменьшением расстояния до зданий и сооружений не должно превышать 0,5 значения по модулю, что в 4 раз меньше требуемых максимальных значений;

2. При приближении горных работ к г. Междуреченск сейсмические колебания будут увеличиваться, рекомендуется снижать абсолютную массу взрывчатых веществ на взрыв, а также в одной ступени замедления;

3. Рекомендуется при планировании взрывных работ проводить предварительные расчёты ожидаемых смещений, для этого использовать номограмму, представленную на рисунке.

4. Представленная номограмма позволит заблаговременно планировать последствия от массовых взрывов на разрезе «Междуречье», определять безопасные расстояния от планируемого места взрывов и рассчитывать вероятные последствия негативного влияния от сейсмических воздействий техногенного характера.

Библиографический список

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах», ЗАО НТЦ ПБ, 2016 г.

2. СНиП 2.01.07-85 (с изменением №2). Нагрузки и воздействия. –М., 2003. – 32 с.

3. Тюпин В.Н. Длительность воздействия сейсмозрывных волн на охраняемые объекты при массовых взрывах на карьерах / В.Н. Тюпин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2021. - №. 4. - С. 124-133.

4. Мониторинг сейсмического воздействия на охраняемые объекты при производстве массовых взрывов на разрезах Кузбасса / В.П. Доманов, И.В. Машуков // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности, 2013. - №1-1. - С. 60-64.

5. Машуков И.В. Регистрация сейсмических колебаний от подземных массовых взрывов / И.В. Машуков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2014. - №4. - С. 216-221.

6. Совмен В. К., Кутузов Б. Н., Марьясов А. Л., Эквист Б. В., Токаренко А. В. Сейсмическая безопасность при взрывных работах. — М.: Изд-во «Горная книга», 2002. — 228 с.

7. Цейтлин Я. И., Смолий Н. И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов. — М.: Недра, 1981. — 192 с.

8. Отчет о ведении взрывных работ за январь, февраль АО «Междуреченский», 2021 г.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОСАМОСВАЛОВ ДЛЯ РАБОТЫ НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА

Михайлов Д.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Волошин В.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: danm12345.54321@mail.ru*

В данной статье приведен анализ работы отечественных автосамосвалов на разрезе «Виноградовский», представлены основные аварийные ситуации узлов и агрегатов автомобильного транспорта. Предложены варианты совершенствования сервисных центров по ремонту автосамосвалов отечественного и зарубежного производства. Представлен практический опыт за два года работы сервисного центра по ремонту самосвалов.

Ключевые слова: угольный разрез, автосамосвал углевоз КамАЗ 65801-Т5, углевоз FAW 3310, технический сервис, плановый ремонт, цифровой двойник.

Отечественные автосамосвалы по основным показателям безотказности и долговечности уступают автомобилям зарубежного производства различных марок в 1,3–2,2 раза [1].

Для надежного достижения высоких показателей производительности автосамосвалов необходимо в постоянном режиме отслеживать техническое состояние эксплуатируемого автотранспорта и поддерживать его на нормальном уровне. С этой целью на разрезе «Виноградовский», филиала ОАО «Кузбасская Топливная Компания» более двух лет осваивается учет технического состояния основных узлов и агрегатов находящихся в эксплуатации автосамосвалов: двигателей внутреннего сгорания, редукторов мотор-колеса, колес, генераторов тяговых и т. д.

Основные показатели безотказности и долговечности карьерного автотранспорта: средняя наработка на отказ и средний ресурс узлов автосамосвалов. Основная часть отказов карьерного автотранспорта относится к категории внезапных, обусловленных в основном влиянием условий и режимов эксплуатации. Установлено, что наиболее ненадежными агрегатами автосамосвалов КамАЗ углевоз 65801-Т5, с точки зрения безотказности, являются двигатели. Исследования показали, что значительная часть среднего времени восстановления приходится на время ожидания ремонта, обусловленного в основном влиянием организационных факторов. Опыт эксплуатации карьерных автосамосвалов на горнодобывающих предприятиях показал, что наработка на отказ отечественных машин значительно ниже зарубежных аналогов, которые эксплуатируются в аналогичных условиях [5].

Для оперативной оценки состояния машин разработана визуализированная карта учета технического состояния узлов и агрегатов автосамосва-

лов, позволяющая руководителям участка устанавливать приоритеты при постановке машин на ремонт и заблаговременно начинать материальную и финансовую подготовку к его проведению.

Также разработана форма учета результатов работы ремонтного персонала, позволяющая участковому механику в оперативном режиме отслеживать результаты работы ремонтных бригад. Установлено, что недостаточно высокая обеспеченность оборотным фондом узлов и агрегатов машин обуславливает достаточно низкие показатели эксплуатационной надежности отечественных автосамосвалов. На рисунке 1 представлены номограммы распределения отказов и времени простоев автосамосвалов КамАЗ углевоз 65801-Т5 в период эксплуатации на разрезе «Виноградовский».

Тяжесть последствий отказов металлоконструкций (материальные и финансовые затраты) достигает 80 % общих затрат на текущие ремонты [2, 3].

Характерно, что для отечественных автосамосвалов имеет место достаточно длительный период «приработки» (пробег до 40 тыс. км), что свидетельствует о недостатках в организации их сборки и наладки.

Показатели среднего ресурса (в тыс. км) некоторых наиболее слабых узлов автосамосвала КамАЗ углевоз 65801-Т5 следующие:

- шкворни – 30–50;
- рычаги задней подвески – 26–65;
- 3-я поперечина рамы – 25–52;
- рулевые тяги – 30–43;
- редуктор мотор-колеса – 35–61;
- тяговый электродвигатель – 34–47.

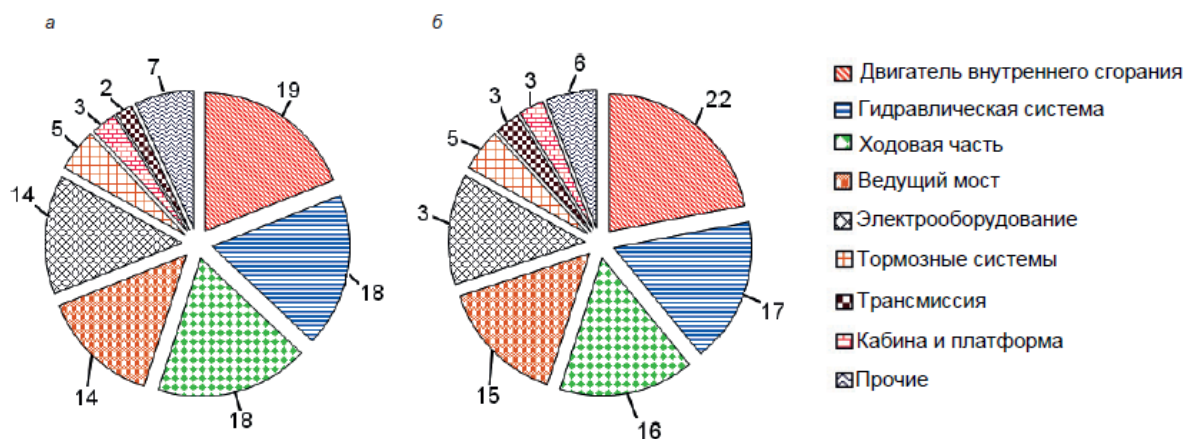


Рисунок 1 - Распределение отказов а) и времени простоя в ремонте б) автосамосвалов

На замену автосамосвалам отечественного производства предложен самосвал углевоз FAW 3310 8x4 Грузоподъемность 33 т. На рисунке 2 представлены автосамосвалы отечественного и китайского производства.



КамАЗ Самосвал углевоз 65801-Т5, грузоподъемность 31 т



Самосвал углевоз FAW 3310 8x4, грузоподъемность 33 т

Рисунок 2 - Автосамосвалы отечественного и китайского производства [4]

Одним из направлений решения задачи повышения качества ремонта и технического обслуживания на основан на знании фактического технического состояния отдельных узлов и агрегатов. Эта информация может быть получена из результатов вибрационного обследования и спектрального анализа состава примесей в смазывающей жидкости. Эти два метода функциональной диагностики позволяют получить практически всю информацию о процессах, протекающих в контактирующих узлах и деталях. Достоверная информация о техническом состоянии горно-шахтного оборудования подготовительных и очистного забоев, позволит наиболее полно использовать ресурс деталей и узлов и снизить время простоев за счет внедрения прогрессивных стратегий технического обслуживания и ремонта. Поэтому разработка метода оценки, основанного на современных методах неразрушающего контроля, является актуальной задачей.

С целью повышения эффективности планирования ремонтных работ автотранспорта сервисным центром для разреза «Виноградовский» разработаны листы осмотра оборудования, в которых слесарь на смене указывает замечания, требующие дальнейшего устранения при ремонте, и передает их механикам. Данные замечания планируется оценивать показателем вероятности возникновения отказа, который рассчитывается как произведение вероятности на тяжесть отказа.

Система плано-предупредительных ремонтов весьма затратная форма технического обслуживания, так как в большинстве случаев стимулируется сдельной системой оплаты труда по принципу «больше ремонта - больше оплата». Следовательно, как непосредственные исполнители, так и их руководители заинтересованы в большем объеме ремонтных работ, что существенно затрудняет интеграцию новых подходов к системе техобслуживания и ремонта (ТОиР).

При стратегии фактического состояния оборудования, которая предполагает оценку технического состояния механизма без ревизии, на эксплуатационных режимах, речь, естественно, идет о контроле по вторичным пара-

метрам и поэтому вполне логично, что эти параметры должны удовлетворять определённым требованиям. Требования к ним должны быть сформулированы следующим образом:

1. Контролируемые параметры должны иметь однозначную количественную взаимосвязь с первичными параметрами технического состояния.
2. Измерение параметров должно обеспечиваться по возможности простыми, портативными или стационарными техническими средствами, не требующими специальной квалификации персонала.
3. Технические средства должны быть метрологически аттестованы согласно ГОСТам и методикам;
4. Диапазон изменения контролируемых параметров в процессе работы механизма от состояния “отлично” до состояния “недопустимо” должен быть достаточно большим (параметр должен меняться не менее, чем в 5-10 раз согласно стандарту IORS:2010) для своевременного выявления зарождающихся дефектов и достоверного прогнозирования остаточного ресурса механизма.
5. Стоимость выполнения работ по контролю вторичных параметров и время их выполнения должны быть существенно ниже, чем при ревизии механизмов.
6. Достоверность контроля по вторичным параметрам должна быть не ниже 80 %.
7. Параметры контроля должны быть по возможности универсальны для диагностики одинаковых дефектов однотипного оборудования или его узлов.

На рисунке 3 представлена схема создания «Цифрового двойника» реальным объектам для изучения качества сервиса обслуживания и ремонта отдельных частей и агрегатов автосамосвалов и планирование качества эксплуатации на разрезе «Виноградовский».

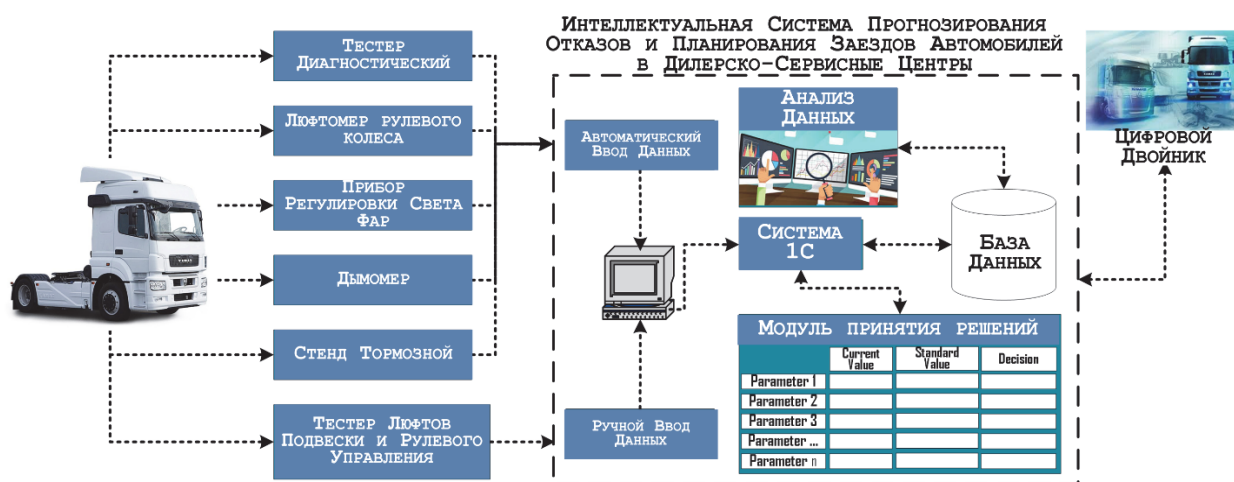


Рисунок 3 - Схема взаимодействия реальным объектом и его цифровым двойником [5]

Методическими рекомендациями для формирования конкурентоспособного технического сервиса в рыночных условиях по обеспечению работоспособности горнотранспортного оборудования являются:

- для повышения эффективности освоения опережающего типа контроля технического состояния оборудования необходимо в этот процесс вовлекать операционный персонал;

- систему выдачи наряда линейных руководителей целесообразно формировать на снижение тяжести и вероятности зарождения отказа оборудования;

- стандартизацию процессов необходимо производить тремя этапами:

- выдача ежесменного, еженедельного и месячного наряд-задания операционному персоналу с фиксацией планового и фактического времени выполнения операций;

- выдача ежесменного, еженедельного и месячного наряд-задания на основе стандартов на выполнение видов работ (комплекс процессов).

- достижение требуемой динамики освоения функционала технического сервиса, обеспечивающего его конкурентоспособность, осуществляется на основе вовлечения персонала в систему непрерывных улучшений и дополнительным контролем, суть которого заключается в визуализации статуса решения задач, а также определении и повышении ценности каждого работника.

Библиографический список

1. Ясюченя С.В. О повышении операционной эффективности открытых горных работ в компании ОАО «СУЭК» / С.В. Ясюченя // Горная Промышленность. – 2013. – № 6. – С. 23-27.

2. Лукинский В. С., Лукинский В. В., Плетнева Н. Г. – Логистика и управление поставками. Учебник и практикум для СПО - М.:Издательство Юрайт - 2019 - 359с. - ISBN: 978-5-534-10259-8 - Текст электронный // ЭБС ЮРАЙТ - URL: <https://urait.ru/book/logistika-i-upravlenie-seruyami-postavok-442475>.

3. Хохряков, В.С. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых / В.С. Хохряков. – Москва: Недра, 1991. – 334 с.

4. Ческидов, В.И. Ресурсный потенциал открытой добычи угля в Кузбассе / В.И. Ческидов // Вестник кузбасского государственного технического университета. – 2008. – №. 4 (86). – С. 23-25

5. Фефелов Е.В. Систематизация горнотехнических условий эксплуатации карьерного автотранспорта / Е.В. Фефелов // Горный информационно-аналитический бюллетень (Научно-технический журнал). – 2012. – №. 911. – С. 207-211.

СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА РАЗРЕЗЕ «ВИНОГРАДОВСКИЙ»

Михайлов Д.А., Коновалова О.Ю.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Волошин В.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: danm12345.54321@mail.ru*

В данной статье приведен анализ ведения буровзрывных работ на разрезе «Виноградовский», представлены основные параметры действующего паспорта и опытно-промышленные параметры проводимых исследований на производственных участках. Предложены варианты совершенствования паспортов БВР, снижающих негативное воздействие массовых взрывов на окружающую среду. Представлен анализ трехлетнего опыта работы предприятия по ведению буровзрывных работ на разрезе «Виноградовский».

Ключевые слова: угольный разрез, паспорт буровзрывных работ, конструкция скважинного заряда, придонный компенсатор, промежуточный детонатор.

Одним из основных производственных процессов при разработке месторождений открытым способом является буровзрывная подготовка горного массива к экскавации, удельный вес которой в общем технологическом комплексе горного производства составляет до 40-45%. К ней предъявляются достаточно жесткие требования, т.к. по степени и равномерности дробления пород взрывом, проработке подошвы уступа, форме развала раздробленной взорванной горной массы в значительной степени зависит производительность горного, транспортного и дробильного оборудования, а, следовательно, и общие технико-экономические показатели предприятия и его рентабельность [1-4].

Геологическое строение и горно-геологическая характеристика месторождения разреза «Виноградовский» соответствует «Техническому проекту разработки Виноградовского каменноугольного месторождения». Плотность углей, согласно данным геологоразведки, изменяется от 1,3 до 1,63 т/м³.

Прочностные свойства коренных пород изменяются в сторону увеличения прочностных свойств (таблица 1). По результатам геологоразведки наблюдаются включения крепкого песчаника, что оказывает существенное влияние на ведение буровзрывных работ.

Крепость песчаника возросла с 9 до 12 по школе профессора М.М. Протодяконова. В кровле угольного пласта проявляются прослойки очень крепких пород – тонкозернистых кремнистых песчаников трудно поддающихся бурению.

Технические характеристики, применяемых буровых установок ДМ-М2, ДМ-45 и РВ-271, позволяют производить бурение скважин с включением крепких пород.

Таблица – Прочностные свойства коренных пород

Наименование пород	Плотность т/м ³	Сопротивление сжатию, МПа	Угол внутреннего трения, град	Сцепление в куске, МПа	Сцепление в массиве, МПа	Влажность, %
Песчаник выветрелые	2,56	21,8	-	1	-	-
Песчаник неветрелые	2,62	120,3	35	15,5	10,4	1,2
Алевриты выветрелые	2,50	30,2	-	1,5	-	-
Алевриты неветрелые	2,61	64,0	34	8,5	0,77	2,9
Аргиллиты	2,48	26-55,5	28	2,5	0,37	-
Угли	1,35	6,1	28	2,8	0,37	-

Обурирование блоков вскрышных пород производится с кровли вскрышного уступа вертикальными или наклонными скважинами. Перед бурением очередного блока производится зачистка кровли вскрышного уступа от оставшихся наносов и кусков породы [2].

Взрывная подготовка осуществляется в две стадии: первичное и вторичное дробление. Глубины скважин по транспортной системе разработки 2-17 метров. При зарядании скважин используются конструкции зарядов:

- сплошной;
- рассредоточенный;

Для лучшего дробления пород и повышения КПД взрыва применяется короткозамедленное взрывание с интервалом замедления 17-500 мс.

Для обводненных скважин используется ВВ Сибирит 1200, а для сухих используется Гранулит НП.

Для вторичного дробления негабарита, применяется метод накладных зарядов.

Применяются способы взрывания:

- бескапсюльный с помощью детонирующего шнура;
- неэлектрической системой инициирования;
- комбинированный с применением детонирующего шнура в поверхностной сети и неэлектрическая система в скважинном заряде.

На рисунке 1 представлена конструкция скважинного заряда, применяемого при ведении БВР на действующем блоке разреза «Виноградовский».

В целях устранения негативных последствий роста отрицательного воздействия от массовых взрывов на экосистему и жителей населенных пунктов в районе разреза «Виноградовский» специалистами предприятия совместно с ООО «КРУ-Взрывпром» разработан и применяется комплекс организационно-технических мероприятий:

- производится 100% забойка заряженных скважин;
- применяются 100% простейшие взрывчатые вещества.

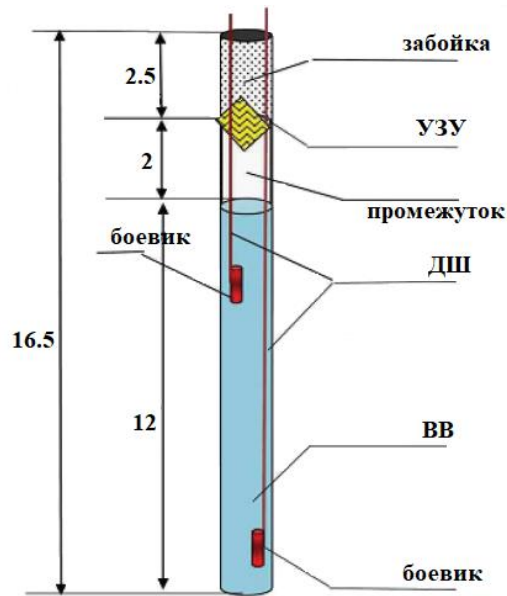


Рисунок 1 – Конструкция скважинного заряда (действующий паспорт)

В настоящее время для заряжания сухих скважин используются гранулированные взрывчатые вещества, для изготовления которых, в качестве основного компонента применяется пористая аммиачная селитра; для заряжания обводненных скважин – эмульсионные взрывчатые вещества (рисунок 2).

Экспериментальные взрывные работы произведены с применением скважинных устройств с электронным замедлением инициирования заряда, поверхностных неэлектрических систем инициирования, патронированных эмульсионных промежуточных детонаторов, эмульсионного взрывчатого вещества и вспомогательных устройств для формирования колонки заряда и забойки скважин [4].

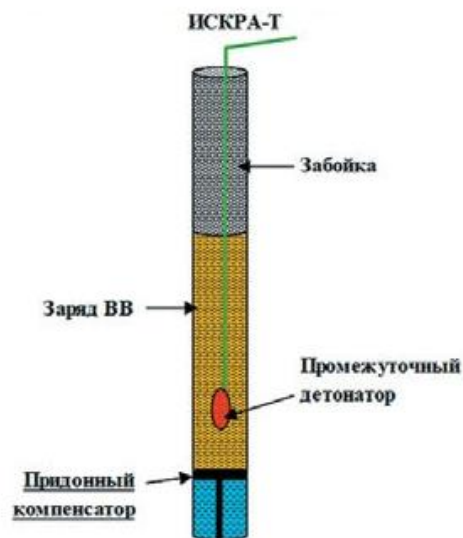


Рисунок 2 – Усовершенствованная схема заряжания скважин с использованием промежуточного детонатора и специальной забойки без конструкции универсальных запирающих устройств (УЗУ)

Применение пористой аммиачной селитры позволяет снизить объем потребляемых взрывчатых веществ за счет меньшей вместимости на один погонный метр скважины;

– для инициирования скважинного заряда в качестве боевиков используется патронированное эмульсионное взрывчатое вещество в 100% скважин;

– внедрены вспомогательные устройства для забойки обводненных скважин, рассредоточения скважинного заряда, в том числе в придонной части, а также устройства для рассредоточения эмульсионных взрывчатых веществ под водой.

Применение усовершенствованных схем заряжания скважин влечет за собой уменьшение длины сплошной части заряда, а также возникновение части скважины, не заполненной взрывчатым веществом, без потери качества взорванной горной массы [2]. Внедренный комплекс организационно-технических решений позволяет использовать меньшее количество взрывчатых веществ для подготовки горных пород к выемке.

Исходя из анализа данных (за последние 3 года специалистами разреза «Виноградовский» совместно с ООО «КРУ-Взрывпром»), полученных по результатам опытно-промышленных массовых взрывов – минимальный сейсмический эффект от взрыва будет в том случае, когда время замедления между скважинами длинных продольных рядов примерно в 1,37 раза больше, чем между скважинами в поперечных рядах.

Значение магнитуд находилось в диапазоне 1,4–1,9. Значения давления ударной воздушной волны при производстве массовых взрывов не превышали предельного значения, из условий возможного повреждения остекления. Выполненные исследования атмосферного воздуха при производстве массовых взрывов установили, что на границе санитарно-защитной зоны выбросы вредных веществ не превышают предельных значений. Такой результат достигнут благодаря проводимой планомерной работе по снижению негативного воздействия от взрывных работ [1, 2].

Таким образом, выполненный анализ мониторинга создаваемого сейсмического эффекта от массовых взрывов, смонтированных описанной схемой с применением промежуточного детонатора, показал, что предельно допустимая скорость колебания грунта зафиксирована в диапазоне от 0 до 2 мм/с при допустимой – 5 мм/с для жилых объектов. Прямое влияние на создаваемый сейсмический эффект от массовых взрывов оказывает только количество взрывчатого вещества, взрываемого в группе одновременно. Современный подход к проведению массовых взрывов с применением, представленных средств инициирования и технологий формирования скважинного заряда позволяет снизить сейсмический эффект от взрыва до допустимых значений, что имеет существенное значение при расположении зданий и сооружений гражданского назначения в границах действующего разреза «Виноградовский».

Библиографический список

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах», ЗАО НТЦ ПБ, 2016 г.
2. Отчет ООО «КРУ-Взрывпром» «Совершенствование взрывной технологии разработки угольных разрезов Кузбасса», Кемерово 2017. - 160 с.
3. Бенин В.А., Дугарцыренов А.В., Цэдэнбат А. Взрывание неоднородных массивов горных пород с вечномерзлыми линзообразными включениями. Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2007. - № ОВ7. - С. 266 - 272.
- 4 Дугарцыренов А.В. Физическая природа и механизм разрушения горной породы при камуфлетном взрыве. Взрывное дело. Вып. №106/63. - М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2011. - С.112-126.

УДК 622.817.3:234.573

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

Тайлаков А.О., Кундро К.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Риб С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: aleksandr_tailakov@bk.ru*

В данной статье проведен анализ отечественного программного обеспечения для решения задач, связанных с вентиляцией угольных и рудных шахт.

Ключевые слова: вентиляция, численные методы, программное обеспечение, угольная шахта, рудник.

В угольной промышленности России, с внедрением высокопроизводительного оборудования, повышается метановыделение в горных выработках шахт. Растут скорости проведения горных выработок, возникают проблемы с газовой обстановкой в забоях проходческих и добычных участков.

Одним из методов получения достоверной информации о геомеханических и газодинамических процессах на шахтах при подземной разработке угольных пластов являются шахтные эксперименты. Натурные исследования предполагают высокую стоимость, значительную трудоемкость, требуют довольно длительного периода времени. Кроме того, в натуральных условиях ограничены возможности варьирования изучаемых параметров.

В практике научных исследований широко применяется математическое моделирование методом конечных элементов, реализация которого осуществляется с помощью комплекса компьютерных программ. Компьютерное моделирование применяется для проектирования систем вентиляции

шахт, рудников, транспортных тоннелей и других подземных объектов, позволяющее решать самые сложные проблемы [1-5].

В связи с этим, уже практически невозможно представить современное, безопасное горное предприятие, без использования программного обеспечения (ПО).

Существуют большое разнообразие программ, позволяющих рассчитывать параметры вентиляции автоматически. В основу алгоритмов расчета закладываются известные методики. Тем не менее, автоматический расчет позволяет сэкономить много времени, дает возможность прогнозировать различные варианты в системах проветривания объектов.

В работе рассматривается отечественное ПО, разработанное для предприятий горной отрасли.

«Вентиляция 2» – это программа расчета нормального и аварийного воздухораспределения в шахте [6]. К основным возможностям программы относятся:

- формирование пространственной топологии горных выработок;
- установка в выработки шахты вентиляторов, перемычек и людей с указанием параметров, специфичных для каждого типа;
- расчет естественного воздухораспределения в шахте;
- расчет устойчивости проветривания при изменении сопротивления в одной или нескольких выработках;

- расчет устойчивости проветривания при пожаре в одной из выработок.

В недавнем обновлении программы появился ряд функций, позволяющий контролировать еще больше параметров общешахтной вентиляционной сети:

- «Контроль параметров». Обеспечивает проверку ряда параметров ветвей и вентиляционных сооружений с наглядным выделением их на технологической схеме. Позволяет искать объекты с результатами расчетов, не отвечающими заданным критериям;

- «Раскрасить по входящей/исходящей». Позволяет мгновенно выделить пути движения воздуха по горным выработкам шахты из данной точки/в данную точку шахты и определить вентиляторы, определяющие процессы проветривания в указанной точке;

- «Депрессиограмма». График вентиляционного давления по маршруту в сети горных выработок. Маршрут задается пользователем или определяется по наименьшему расходу воздуха;

- «Контроль названий выработок». Позволяет выполнять проверки названий горных выработок для их соответствия корпоративным стандартам компании;

- «Объекты проветривания». Объединяет информацию о подготовительных и очистных участках горнодобывающего предприятия, объемах подаваемого на них воздуха и утечках;

- «Зоны рециркуляции». Автоматически выделяет на технологической схеме зоны рециркуляции воздуха в сети горных выработок шахты.

Вторым широко используемым ПО для расчета вентиляции является «АэроСеть» [7]. Приложение «АэроСеть» разработано в Горном институте Уральского Отделения РАН в 2005 году. В настоящее время применяется при моделировании воздухораспределения в калийных рудниках России.

Однако, не смотря на то, что приложение «АэроСеть» используется в основном на рудниках, оно с таким же успехом может использоваться для моделирования процессов воздухораспределения на любой другой шахте, в том числе и угольной.

Приложение предназначено для расчета сложных пространственных вентиляционных сетей шахт и рудников произвольной топологии, позволяет проводить анализ различных процессов воздухораспределения в рудниках, решать задачи управления распределением воздушных масс в шахте.

При расчете сетей используются современные численные методы, а также оригинальные вычислительные алгоритмы и схемы, позволяющие значительно улучшить сходимость итерационных схем решения уравнений, а также уменьшить время счета.

ПО «АэроСеть» не имеет каких-либо ограничений на количество ветвей (рисунок 1) в вентиляционной сети и число источников тяги (вентиляторных установок).

Приложение имеет богатый набор возможностей по оформлению внешнего вида вентиляционной сети. Позволяет задавать цвет и толщину ветвей, изменять их конфигурацию и стиль отображения, свободно редактировать внешний вид вентиляционной сети, перемещать вершины, узлы, ветви и т. д.

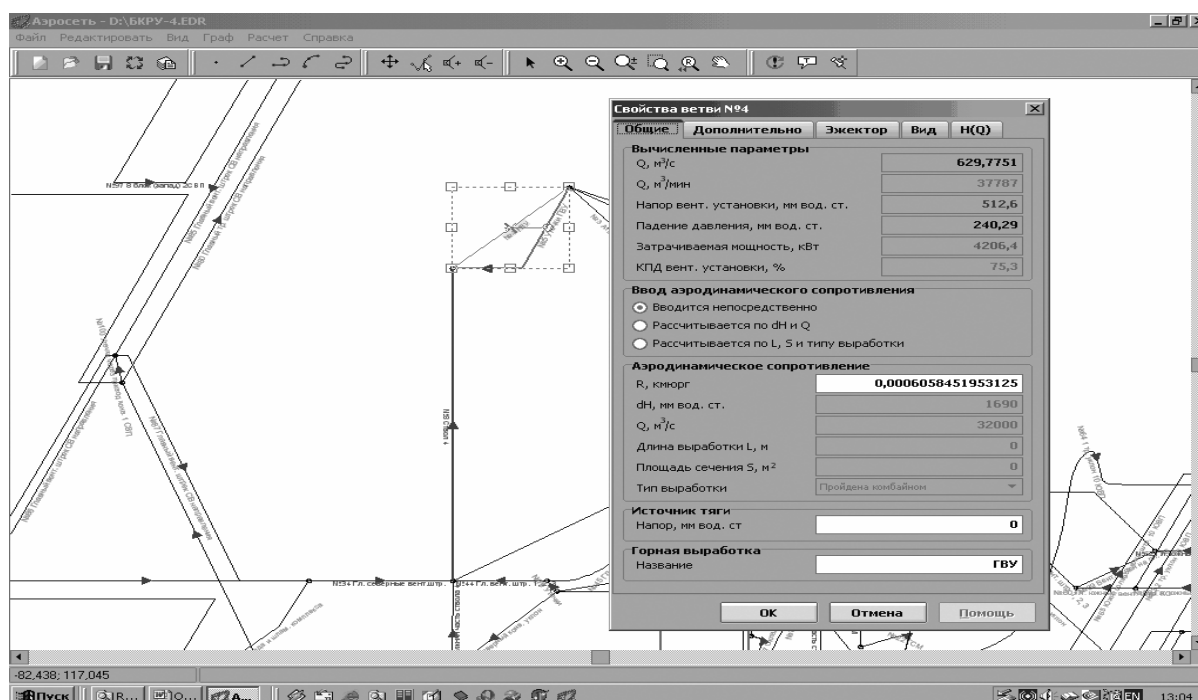


Рисунок 1 – Общие свойства ветви с расчетами расхода воздуха, напора и т.д.

Приложение «АэроСеть» позволяет выполнять следующие задачи:

- использовать различные возможности графического оформления вентиляционной схемы в соответствии с условными обозначениями, формировать вентиляционные сети;
- редактировать существующие вентиляционные сети;
- задавать параметры ветвей вентиляционной сети: аэродинамические сопротивления, источники тяги (вентиляторные установки главного проветривания, вспомогательные вентиляторные установки);
- производить расчет естественной тяги;
- моделировать процессы нестационарного воздухораспределения на основе оригинальных алгоритмов нестационарного сопряженного теплообмена между рудничным воздухом и горным массивом;
- моделировать работу эжекторных вентиляторных установок;
- рассчитывать оптимальный режим работы главной вентиляторной установки с критерием минимизации потребляемой мощности;
- рассчитывать аэродинамические сопротивления ветвей, как на основе данных шахтных замеров, так и на основании длины, площади сечения и коэффициентов аэродинамического сопротивления;
- производить анализ вентиляционной сети, показывать зоны влияния вентиляторных установок в тех или иных режимах проветривания рудника;
- производить расчет задымленности (загазованности) в руднике в случае возникновения пожара в шахте.

В обновлении программы добавлена группировка списка выработок, являющихся путями подхода спасателей по принадлежности к отряду.

Специальные редакции данных программных продуктов обеспечивают взаимодействие с системами позиционирования «Гранч», предоставляя руководителям информацию о расположении людей и самоходного оборудования в реальном режиме времени [8].

Относительно вопросов безопасности, «Вентиляция 2» дополнена новой задачей «Распространение дыма», позволяющую качественно оценить возможные варианты развития событий в результате развития пожара, распространения дыма по горным выработкам и реверса вентиляторов. Данная информация может быть использована руководителями и специалистами при составлении планов ликвидации аварий или непосредственно при ведении горноспасательных работ.

Таким образом, благодаря разработке и использованию вышеуказанного ПО, моделирование систем вентиляции подземных объектов переходит на новый уровень. Современное ПО позволяет решать самые разнообразные, актуальные и сложные задачи в этой области. Но каждая программа имеет свои ограничения в использовании. Использование рассматриваемого ПО позволяет экономить время при расчете общешахтной вентиляционной сети и свести к минимуму ошибки в расчетах, которые производились ранее традиционным методом, без использования ПК. Внедрение рассмотренного ПО на производстве, должно способствовать:

- сокращению времени подготовки и поддержания моделей шахт;
- повышению качества расчетов, эффективности контроля исходных данных и анализа результатов;
- контролю перемещения рабочего персонала по горным выработкам в режиме онлайн (при использовании специальных версий).

Библиографический список

1. Борзых Д.М., Риб С.В., Фрянов В.Н. Свидетельство о регистрации электронного ресурса. "Комплекс программ для прогноза геомеханических и технологических параметров подземных горных выработок и неоднородных угольных целиков с тестированием численной модели по результатам точечного мониторинга" / Объединенный фонд электронных ресурсов "Наука и образование". - 2014. - № 20629, дата регистрации 09.12.2014.
2. Выбор и обоснование алгоритма моделирования работы длинного очистного забоя с учетом влияния неравномерности метановыделения / А.Н. Домрачев, С.В. Риб, А.М. Никитина // Вестник СибГИУ. – 2017. – № 1 (19). - С. 44-45.
3. Киселев Д.А., Елхимов Д.Е., Риб С.В., Никитина А. М. Обоснование аэрогазодинамических параметров угольной шахты в условиях возникновения экзогенного пожара с использованием программного комплекса «вентиляция 2.0» // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых–Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2018. – Вып. 22. – Ч. 2 : Естественные и технические науки.– С. 66-70.
4. Требования к проектированию систем вентиляции высокопроизводительных угольных шахт / Н.О. Каледина // ГИАБ. Тематическое приложение «Аэрология», 2005. - С. 44-56.
5. Моделирование процессов вентиляции шахт для обеспечения метанобезопасности горных работ / Н.О. Каледина, С.С. Кобылкин // Горный журнал, 2011. - №7. - С. 101-103 с.
6. Вентиляция 2 – Шахтэксперт Системы: [Электронный ресурс]. URL: <https://minesoft.ru/cooling> (дата обращения: 09.04.2022).
7. Аэросеть – Решение проблем рудничной вентиляции: [Электронный ресурс]. URL: <https://aeroset.net> (дата обращения: 09.04.2022).
8. Многофункциональная система безопасности угольных шахт - практика применения систем определения местоположения и оповещения персонала / А.В. Новиков, К.В. Паневников, И.В. Писарев // Горная промышленность, 2018. - № 2. - С. 93-98.

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА НА УГОЛЬНОЙ ШАХТЕ

Тайлаков А.О., Кундро К.А.

Научный руководитель канд. техн. наук, доцент Риб С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: aleksandr_tailakov@bk.ru*

В данной статье рассматриваются устройства, повышающие безопасность использования конвейерных линий в угольных шахтах.

Ключевые слова: конвейеры, магистральный транспорт, угольные шахты, датчики, автоматизация.

Современные подземные системы транспорта на шахтах характеризуются значительной длиной и большим числом участковых конвейеров, разветвленностью транспортных магистралей, сложной топологией, изменяющейся со временем [1-3]. Низкая эффективность использования конвейерных линий, обусловлена тем, что поступающие на ленточные конвейеры от горных машин грузопотоки обладают значительной неравномерностью. Энергоэффективное управление приводами ленточных конвейеров уменьшит расходы на электроэнергию. Для решения этой задачи целесообразно регулировать скорость движения ленты в зависимости от грузопотока угля [4].

На большинстве угольных шахт происходит расширение конвейеризации и замена малопроизводительных и устаревших ленточных конвейеров высокопроизводительными конвейерами унифицированного ряда.

Современное направление развития магистрального транспорта осуществляется в решении проблемы его автоматизации с целью уменьшения простоев, повышения надежности и безопасности работ, снижения трудоемкости и оперативности при поиске и устранении неисправности на транспортных линиях. Задачи, возникающие при автоматизации ленточного конвейерного транспорта можно сгруппировать следующим образом (рисунок 1).

При автоматизации управления конвейерных линий используются различные средства контроля, защиты и сигнализации:

- датчики: контроля схода ленты КСЛ-2, датчики скорости ДС, ДЗШ, кабель-тросовый выключатель КТВ-2;
- аппаратуру контроля приводных барабанов АКТЛ-1;
- реле контроля скорости и аварийной блокировки РСА;
- устройства контроля прочности лент УКПЛ-1;
- реле контроля скорости рабочих органов ленточных конвейеров УКСЛ-1;
- аппаратуру контроля скорости пробуксовки лент УКПС;
- блок сигнализации БС-1;
- аппаратуру автоматизации орошения АО-3;

– комплектную аппаратуру автоматизации АУК.1М.

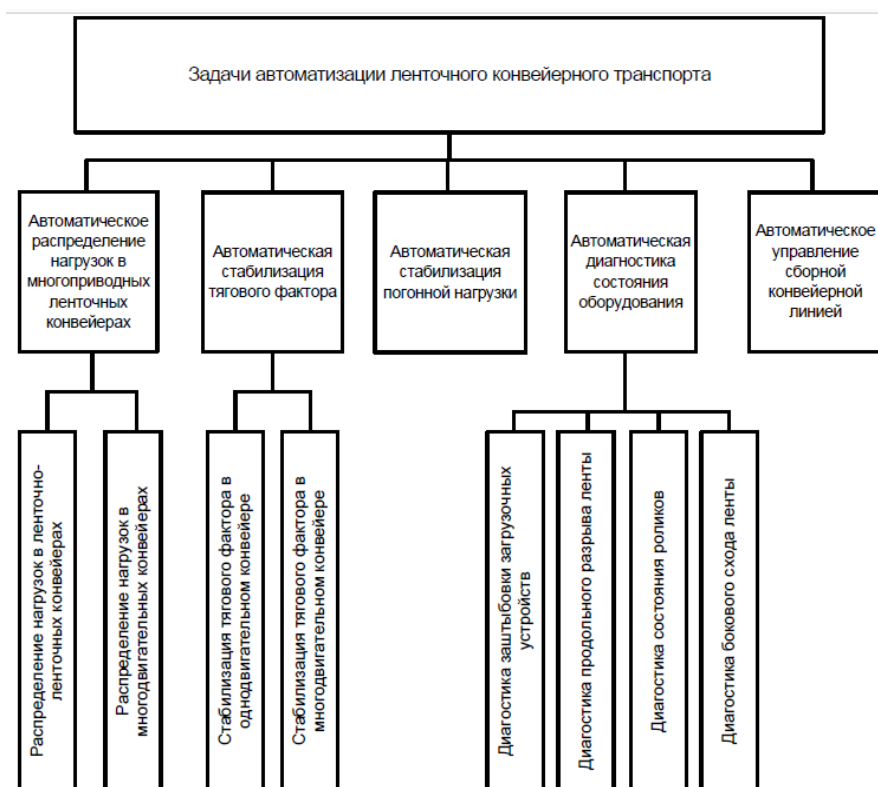


Рисунок 1 - Задачи автоматизации ленточного конвейерного транспорта [5]

Правильность выбора места установки и качество монтажа датчиков скорости в большой степени определяет надежность работы аппаратуры и схема автоматизации в целом. Датчики скорости ДС из условий удобства монтажа устанавливаются у приводной головки над хвостовой ветвью ленты.

Сегодня угольные шахты начали процесс трансформации своих магистральных линий, поэтому возникла потребность не просто в отдельно взятых датчиках для отслеживания параметров работы магистрального транспорта, а в комплектных аппаратах автоматизации конвейерных линий, управление которыми можно будет вести с одного устройства.

Широкое распространение получил в России серийно выпускаемый комплекс автоматизированного управления конвейерами АУК.1М. Данный комплекс предназначен для управления и контроля работы неразветвленных конвейерных линий, состоящих из ленточных конвейеров (рисунок 2). Для управления разветвленными линиями комплекс АУК.1М дополняют пультом ПРЛ.

Комплекс АУК.1М выполняет все те же функции, что и вышеизложенные по отдельности датчики, но делает это в совокупности с одного пульта управления, что значительно упрощает задачу по отслеживанию и устранению неисправностей на магистральном транспорте.

При разработке системы автоматизации конвейерного транспорта угольных шахт сегодня взят курс на модернизацию и импортозамещение морально устаревших систем управления конвейерами, таких как АУК.

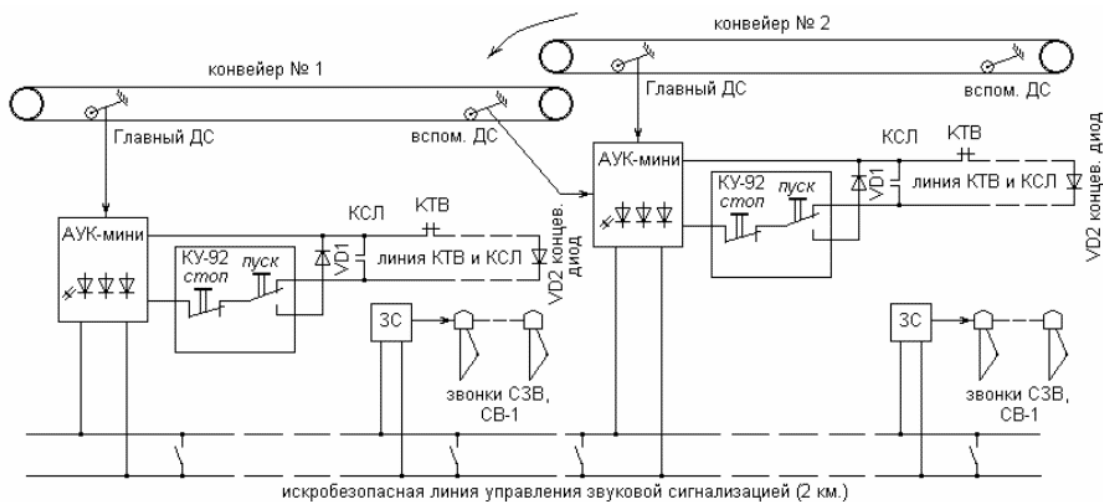


Рисунок 2 – Базовая схема управления линией конвейеров при помощи аппаратуры АУК

Одна из таких систем получила название «Автоматизированная система управления конвейерным транспортом АСУК-ДЭП» (г. Москва) [6]. Эта система предназначена для автоматизированного управления разветвленными и неразветвленными конвейерными линиями, а также одиночными конвейерами, входящими и не входящими в состав конвейерной линии, в подземных выработках шахт и рудников (рисунок 3).

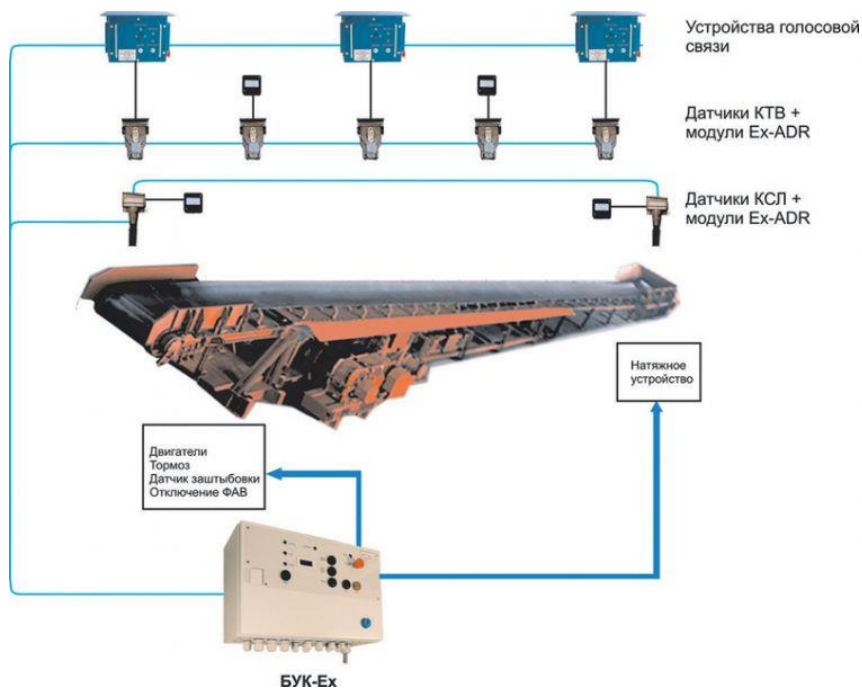


Рисунок 3 - Автоматизированная система управления конвейерным транспортом АСУК-ДЭП [6]

Система постоянно совершенствуется, добавляются новые функции: измерение температуры на двигателе и редукторе, измерение объема транспортируемого материала, управление орошением и пр. Появилась аппаратура управления вспомогательным оборудованием конвейерного транспорта — например, пересыпными устройствами, бункерами, питателями, реверсивными конвейерами и многое другое.

В состав основного оборудования АСУК-ДЭП входит: центральный пост управления ЦПУ, размещаемый в диспетчерской и блок управления конвейером БУК (по одному БУК на каждый конвейер). Дополнительно, в состав АСУК-ДЭП может входить: Блок управления шибером, Блок сопряжения (мост), Пульт управления маршрутами. БУК является проектно-компонентным изделием, т.е. количество обрабатываемых сигналов может выбираться пользователем, исходя из конкретных технических характеристик каждого конвейера. Компоновка БУК под требуемый набор сигналов производится путем выбора количества соответствующих модулей ввода-вывода. В зависимости от места расположения конвейера выбирается соответствующее исполнение БУК. Для шахты – блок управления конвейером во взрывозащищенном исполнении (БУК-Ех). Неотъемлемой частью каждого БУК является специализированное программное обеспечение, в котором реализован необходимый набор функций, позволяющий управлять различными типами конвейеров.

БУК выполнен на основе программно-технического комплекса (ПТК) общепромышленного исполнения – «ДЕКОНТ». БУК-Ех выполнен на основе ПТК «ДЕКОНТ-Ех» и является взрывобезопасным электрооборудованием.

Основные выводы и рекомендации по использованию аппаратуры автоматического контроля на магистральном транспорте:

- при существующем характере транспортных грузопотоков на горных предприятиях, повышение эффективности эксплуатации конвейерного транспорта за счет снижения холостого пробега ленты, уменьшения износа ленты и роликов, снижения коэффициента прочностного запаса, увеличения сроков службы ленты, снижения энергопотребления, возможно лишь при автоматическом управлении загрузкой и натяжением ленты конвейера;

структура автоматической системы обеспечивает стабилизацию погонной нагрузки, близкую к номинальной;

- управление, учитывающее время перехода конвейера с одной скорости движения на другую и величину задания, обеспечивает наилучшее быстрое действие регулирование скорости, ограниченное только собственными свойствами конвейера.

Таким образом, регулирование скорости электродвигателей тяговых органов в зависимости от грузопотока позволит увеличить эффективность использования магистральной конвейерной линии, повысить срок ее службы, а так же снизить энергопотребление, что важно в условиях низкой рентабельности шахт.

Библиографический список

1. Автоматизированная система контроля и управления ленточными конвейерами на угольных шахтах / А.И. Благодарный, О.З. Гусев, С.С. Журавлёв // Горная промышленность, 2008. - № 6. - С. 38-43.
2. Батицкий В. А., Куроедов В. И., Рыжков А. А. Автоматизация производственных процессов и АСУ ТП в горной промышленности. — М.: Недра, 1991. — 303 с.
3. Разработка технологических решений по повышению эффективности использования основного транспорта на угольных шахтах // Р.Г. Коновалов, С.В. Риб / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 11-15 февраля 2019 г. / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общ. ред. М. В. Темлянцева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2019. - С. 62 - 66.
4. Использование современных программно-технических комплексов для автоматизации конвейерных линий / В.В. Дмитриева, И.Ф. Авхадиев, П.Е. Сизин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2021. - №2. - С. 150-163.
5. Дмитриева В.В. Современные задачи автоматизации ленточного конвейерного транспорта / В.В. Дмитриева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2013. - №1. - С. 281-286.
6. Уваров А.В. Автоматизированная система управления конвейерами и конвейерными линиями АСУК-ДЭП / А.В. Уваров // Записки Горного института, 2008. - Вып. 177. - С. 36-39.

УДК 622.882

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ГОРНОРУДНОЙ ОТРАСЛИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Никитина А.М., Риб С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В данной статье приведен анализ состояния и перспектив развития горнорудной отрасли Российской Федерации и Республики Казахстан. Рассмотрены глобальные проблемы и приоритетные направления развития горнорудной отрасли. Приведены рекомендации о реализации особой геотехнологической политики.

Ключевые слова: горнорудная отрасль, добыча полезных ископаемых, сырьевые ресурсы.

Одна из важнейших задач любой страны в современных условиях – обеспечение ускоренного развития экономики, которое невозможно представить без технологического переоснащения и модернизации отрасли, способствующих созданию высокой добавленной стоимости. Горнодобывающая промышленность представляет собой одну из главных отраслей экономики Российской Федерации и Казахстана. Отличительной ее особенностью является большое разнообразие добываемых полезных ископаемых и как следствие большое количество предприятий, работающих как непосредственно в сфере разведки и эксплуатации месторождений, так и в сфере материально-технического обеспечения процессов недропользования.

В настоящее время в горной промышленности существуют определенные проблемы. Одна из основных – это значительное снижение цены на железную руду в целом на всем мировом рынке. Введенные со стороны западных стран санкции повлияли на снижение экспорта многих российских товаропроизводителей [1].

Сокращение прибыли привело к сворачиванию инвестиционных программ по расширению производства и технического перевооружения данных предприятий. Без модернизации и инновационного обновления отечественные горнодобывающие предприятия не способны конкурировать на международном рынке.

В этой связи актуальным является исследование существующих и разработка новых средств и способов повышения эффективности развития горнорудной отрасли Российской Федерации и Республики Казахстан.

Правительство России в связи с падением цен на продукцию отрасли, приняло ряд значимых мер, связанных с поддержкой производителей и уменьшением налогов. А именно, в 17 раз в 2020 году был уменьшен налог на добычу полезных ископаемых для редких металлов. Согласно данным стратегии развития минерально-сырьевой базы России до 2035 года, рост закладывается практически по всем редким металлам, с 2 тыс. тонн в 2020 до 17–20 тыс. т. Стимулировать такой рост Правительство РФ собирается за счет системы снижения ставки НДС с 8 % до 4,8 % и введения понижающего коэффициента 0,1. Существующие тенденции на Европейском рынке, оставляют для России не так много вариантов развития [3].

В Казахстане приоритетным направлением инвестирования являются объекты недропользования по углеводородному сырью, финансовые вложения в разведку и добычу нефти составляют более 70% общего объема. Меньшая доля инвестиций приходится на твердые полезные ископаемые.

Зачастую повышается и сложность добычи полезных ископаемых, отсутствие системной работы по геологоразведке, исчерпание запаса легкодоступных месторождений. По сравнению с другими ресурсодобывающими странами, вложения в геологоразведку в России ниже. Например, Канада в 2018 году вложила 4,2 млрд. долларов.

С учетом запроса на обеспечение устойчивого развития в будущем многие компании начинают активно заниматься вопросами снижения эколого-

гических последствий своей деятельности. С вызовом, который связан с необходимостью предложения потребителю экологически безопасной продукции, сталкиваются все сектора экономики – от технологических компаний до горнодобывающих предприятий. Сравнение выручки в 2006 и 2018 гг по горнодобывающей промышленности представлено на рисунке 1 [3].

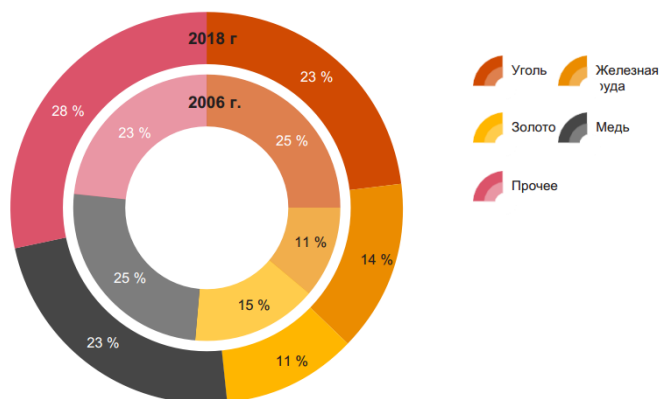


Рисунок 1 – Горнодобывающая промышленность, выручка в 2006 и 2018 гг [3]

Тем не менее, у компаний лидеров все же имеется понимание значимости цифровых преобразований, поэтому горнодобывающие компании все-таки приступили к цифровой трансформации своей деятельности в последние годы. Технологии позволяют снизить издержки на поиск месторождений и добычу ископаемых в действующих шахтах и разрезах [2].

Если пытаться прогнозировать перспективы цифровизации горнодобывающих производств, то уже в ближайшее десятилетие появятся новые технологии, которые смогут обеспечить переход к добыче сырья без непосредственного участия человека. Технологии 5G и роботизация позволят осуществлять беспилотное управление техникой или дистанционное управление операторами, находящимися в другой точке.

В Китае в настоящее время функционирует круглосуточно работающий робот-порт, что может быть спроецировано и на карьеры, разрезы, шахты [3].

Нехватка квалифицированных кадров, главным образом квалифицированных рабочих и инженерно-технического персонала, является фактически глобальной отраслевой проблемой. Наивно полагать, что в стране и в мире есть районы с перспективами развития горной промышленности, в котором этой проблемы нет.

Уже сегодня, даже при разработке карьеров по добыче песка, строительного камня ощущается нехватка маркшейдеров, горных инженеров, высококвалифицированных бульдозеристов и экскаваторщиков [4].

Анализ состояния и перспектив развития горнорудной отрасли Российской Федерации и республики Казахстан показал о необходимости реализации особой геотехнологической политики, как составной части научно-технической и технологической политики, взаимосвязанной со стратегией

социально-экономического развития региона.

Наличие необходимых сырьевых ресурсов, лабораторной базы для опытных экспериментальных исследований, специалистов высочайшей квалификации и ряд других выигрышных факторов делает перспективным создание целого ряда новых высокотехнологичных отраслей промышленности.

Библиографический список

1. Соснило А.И. Анализ развития мировой горнодобывающей отрасли и проблемы ее модернизации в России [Электронный ресурс] / А.И. Соснило // Россия: тенденции и перспективы развития, 2021. - № 16-1. - С. 469-472. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2020 году // Режим доступа: doklad_2020.pdf (ako.ru).

2. Разработка мероприятий по совершенствованию системы приемки, погрузки и отправки угольной продукции потребителям / Е. Н. Куликова, А. М. Никитина, С. В. Риб, Д. М. Борзых // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 01–03 июня 2016 года / Министерство образования и науки Российской Федерации; Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2016. – С. 76-79.

3. Андреев Д.В. Роль горной промышленности в экономике страны [Электронный ресурс] / Д.В. Андреев // Московский экономический журнал, 2020. - № 12. - С. 175-185.

4. Актамов И.Г. Горнорудная промышленность трансграничных регионов России и Монголии: социально-экологический аспект [Текст] / И.Г. Актамов // Вестник Института социологии, 2016. - № 3 (18). - С. 160-174.

УДК 622.882

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕР ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗВИТИЯ ГОРНОРУДНОЙ ОТРАСЛИ В РОССИИ

Никитина А.М., Риб С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В данной статье приведены особенности технологического развития в горнодобывающих отраслях промышленности. Разработан комплекс мер по повышению эффективности развития горнорудной отрасли. Приведены рекомендации для повышения эффективности развития горнорудной отрасли в Российской Федерации.

Ключевые слова: горнорудная отрасль, добыча полезных ископаемых,

прогноз, эффективность освоения.

Прогнозирование технологического развития в горнодобывающих отраслях промышленности является одним из звеньев промышленной политики, необходимым условием системного подхода к выработке стратегии освоения недр и играет существенную роль в выработке долгосрочной стратегии развития горного производства.

В свое время академик Н. В. Мельников отмечал: «Прогноз развития горной промышленности на 20–30 лет должен ответить на вопросы о масштабах будущей добычи полезных ископаемых, размерах развития того или иного региона, преобладающем способе разработки, предпочтительной годовой производительности горных предприятий, видах горной техники, возможных экономических показателях и т. д.» [1].

По большинству указанных направлений обоснованные Н. В. Мельниковым и другими учеными еще в середине XX в. пути и масштабы развития горнодобывающих отраслей промышленности в СССР нашли реальное воплощение. В том числе: преимущественное развитие открытого способа разработки, строительство крупных горно-обогатительных комбинатов в железорудной промышленности, угольных разрезов большой производительности, создание комплексов выемочно-погрузочного и транспортного оборудования и др.

Эффективность освоения минерально-сырьевой базы во многом зависит от степени ее увязки с направлениями долгосрочного социального и экономического развития регионов России, а также комплексности использования георесурсов, заключающейся в отказе от ресурсозатратных и широком применении ресурсосберегающих технологий [2,4,5].

На основе результатов анализа региональных стратегий сорока субъектов РФ можно сделать вывод, что перспективы территориального развития региональными властями во многом видятся в диверсификации производства.

Для обеспечения технологической готовности горнопромышленного комплекса к эффективному функционированию необходимы:

– использование в качестве важнейшего фактора наращивания и эффективного использования минерально-сырьевой базы реализации современных методов управления инновационной деятельностью, координации потенциала фундаментальной, вузовской и отраслевой науки с выходом на коммерциализацию научных разработок, в том числе обеспечивающих полноту и комплексность добычи и переработки запасов минерального сырья;

– обоснование предложений о дополнительных мерах правового и экономического характера, стимулирующих разработку и реализацию целевых программ, технологических регламентов и национальных стандартов в сфере научно-технического прогресса и промышленной безопасности горного производства.

Следует учесть три основных особенности технологического развития в горнодобывающих отраслях промышленности [2]:

1. На действующих предприятиях:

– модернизация оборудования, необходимость которой обусловлена двумя основными факторами: большой долей морально и физически устаревшего оборудования и возможностью выбора на мировом рынке его образцов, наиболее соответствующих специфическим горнотехническим условиям конкретного горного предприятия;

– необходимость совершенствования параметров технологических процессов, а также схем вскрытия и систем разработки с учетом того, что при проектировании в силу ограниченности информации и действовавших в период плановой экономики норм и правил технологического оборудования невозможно было использовать методы прогнозирования, доступные в настоящий период;

– необходимость вскрытия глубоких горизонтов, в том числе с учетом изменения предельной глубины открытых горных разработок и перехода на подземную или комбинированную разработку месторождений.

2. Освоение месторождений в новых (в том числе северо-восточных) регионах с недостаточно развитой инфраструктурой, дефицитом кадров, источников энергии, производств, перерабатывающих исходное минеральное сырье.

3. Возможность использования при прогнозировании технологического развития нового методического подхода, сформировавшегося в последние годы при выполнении конкурсных проектов фундаментальных исследований программно-целевого метода, основанного на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности.

На основании вышеизложенного разработан комплекс мероприятий по повышению эффективности развития горнорудной отрасли:

1. Применение конвейерного транспорта при транспортировке горной массы из железорудных карьеров (рисунок 1). В настоящее время крупные железорудные карьеры вывозят горную массу из карьеров автомобильно-железнодорожным транспортом. Горная масса из забоев грузится на автомобильный транспорт, везется на перегрузочные пункты, где вновь погрузочными машинами (экскаваторы, погрузчики) грузится на железнодорожный транспорт, который в свою очередь транспортирует ее из карьера: руду – на фабрику, вскрышные породы – на отвалы [3].

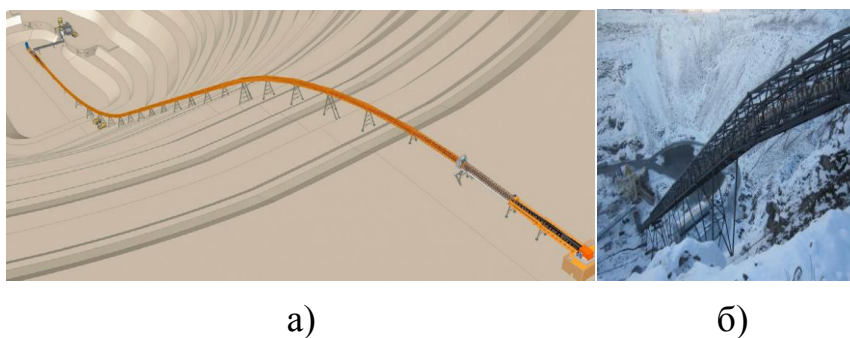


Рисунок 1 – Крутонаклонный конвейер: а) трехмерная схема крутонаклонного конвейера из карьера; б) крутонаклонный двухленточный конвейер в карьере г. Оленегорск [3]

Переход на конвейерный транспорт позволит снизить неорганизованные выбросы перегрузочных пунктов, уменьшив их количество или вообще исключив, позволит снизить количество одновременно работающей погрузочной техники, снизить количество технологических поездов и эксплуатационные затраты на транспортировку горной массы.

Также рекомендуется к внедрению на железорудных карьерах трубчатый ленточный конвейер, обладающий следующими преимуществами (рисунки 2):

- большой угол подъёма (до 50 град);
- защита перемещаемого груза от внешних воздействий;
- отсутствие пыления и просыпей;
- высокая скорость транспортировки;
- низкие затраты на техобслуживание.

2. Применение беспилотных тяговых агрегатов внутри карьеров и на поверхности. В настоящее время на железорудных предприятиях Западной Австралии действует несколько карьеров с полностью беспилотными большегрузными автосамосвалами. Самосвалы работают в режиме 24/7 ежедневно в течение года, что экономит недропользователю 500 ч работы в год. Грузовики управляются дистанционно из операционного центра в Перте, который находится от Пилбары в 1200 км. Каждый карьерный робот-самосвал весом в 500 т движется со скоростью 50 км/ч — почти в 2 раза выше, чем у опытных водителей. Точность ориентации роботов — 1–2 см. Отсутствует время на пересменки, обеды.



Рисунок 2 – Трубчатый ленточный конвейер

Все это дает повышение производительности, снижение простоев, снижение удельных расходов топлива и снижение удельных выбросов [3].

Международный опыт внедрения технологий с беспилотными большегрузными автосамосвалами показывает их высокую производственную и экономическую эффективность.

С целью повышения эффективности развития горнорудной отрасли в Российской Федерации рекомендуется к внедрению:

- конвейерный транспорт при транспортировке горной массы из железорудных карьеров;

- трубчатый ленточный конвейер при транспортировке горной массы из железорудных карьеров;

- применение беспилотных тяговых агрегатов внутри карьеров и на поверхности, что дает повышение производительности, снижение простоев, снижение удельных расходов электроэнергии. Повышение надежности работы оборудования за счет исключения нарушений технологической дисциплины, превышений скорости, проездов на запрещающий сигнал светофора и т. д. Перевод 40 % железнодорожного транспорта на автоматику позволит уменьшить расходы на 2 долл. на тонну железной руды и увеличить ее добычу на 5 %.

Библиографический список

1. Яковлев В.Л. О роли научного прогноза технического прогресса и технологического развития в горной промышленности [Текст] / В.Л. Яковлев // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр: сб. научных трудов ИГД УрО РАН. – 2008. – Вып. 4(94). – С. 144-147.

2. Основные направления развития горнодобывающих предприятий Норильского промышленного района [Текст] / Ю.Л. Киргинцева, К.А. Калашников, К.С. Циллиакус, А.С. Шубрик // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2016. - №2. - С. 369-373.

3. Сентюрин А. В. Добыча и обогащение железных руд. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям [Электронный ресурс] / А. В. Сентюрин // Режим доступа: file:///C:/Users/User/Downloads/_1.pdf.

4. Никитина А. М. Отработка запасов локальных участков угольных пластов подземным способом / А.М. Никитина, С.В. Риб, Д.М. Борзых // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 19–21 мая 2020 года / Под общей редакцией профессора М.В. Темлянцева. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2020. – С. 127-131.

5. Разработка рекомендаций по использованию шахтного метана в условиях угольных шахт // А.С. Лесных, А.М. Никитина, С.В. Риб / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Сибирский государственный индустриальный университет; под общественной редакцией М.В. Темлянцева. 2021. - С. 105-109.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕСПЕРЕБОЙНОЙ РАБОТЫ МЕЛЬНИЦ МОКРОГО САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ

Гельгенберг И.О., Садов Д.В

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Риб С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: domikParatoz@gmail.com*

В данной статье обозначено, что мельницы мокрого самоизмельчения (ММС) являются практически единственным способом подготовки алмазосодержащего сырья после дробления (грохочения) к обогащению на предприятиях «АЛРОСА». В промышленных условиях техническое состояние ММС наиболее часто отображается показателями вибродиагностики.

Ключевые слова: мельница мокрого самоизмельчения, обогащение, алмазосодержащее сырьё, вибродиагностика, бесперебойная работа.

Минерально-сырьевая база АК «АЛРОСА» крупнейшая в мире, причем основная часть балансовых запасов (94,1%), сосредоточена в коренных месторождениях. За более чем 50 лет эксплуатации якутских алмазных месторождений компания «АЛРОСА» создала собственную уникальную технологию обогащения, обеспечивающую глубокую переработку запасов, с извлечением выше 97% [1].

На Удачнинский, Айхальский и Мирнинский ГОКи приходится основной объем добычи алмазов. Все фабрики данных ГОКов имеют схожую технологическую цепочку обогащения. Этап измельчения руды – один из важнейших в технологической цепочке обогащения руды. Мельницы мокрого самоизмельчения (ММС) являются практически единственным способом подготовки алмазосодержащего сырья после дробления (грохочения) к обогащению.

Процесс мокрого самоизмельчения обеспечивает хорошую дезинтеграцию руды (в том числе и глинистой), сокращение исходной рудной массы по заданному отвальному продукту, значительно упрощает технологическую схему рудоподготовки за счет исключения операций среднего и мелкого дробления, в зимнее время при обработке мерзлых руд отпадает необходимость в подогреве руды. Количество тепла, выделяемого при самоизмельчении, в большинстве случаев достаточно для подогрева рудного материала до положительных температур [2]. Существенным недостатком этой схемы являются неизбежные потери массы и качества алмазов за счет их техногенной повреждаемости.

Современные технологии позволяют создать эффективный технологический процесс на базе программного обеспечения. Автоматическая работа мельницы позволяет экономить электроэнергию, мелющую среду и снижает износ футеровки, одновременно увеличивая пропускную способность. Рабо-

та мельницы осуществляется при непрерывной подаче в полость вращающегося барабана руды и воды. Руда захватывается ребрами футеровок (лифтерами) специальной конструкции и поднимается вверх на определенную высоту. Куски руды падают вниз и, ударяясь о футеровку и друг друга, раскалываются. Происходит перемешивание, во время которого руда измельчается путем раздавливания и истирания. Измельченный материал (пульпа), крупность которого становится меньше размера щели разгрузочной решетки, проходит через щели и выгружается через разгрузочный узел мельницы.

На фабрике №12 УГОКа установлены мельницы диаметром барабана 9 метров. В цепочке производства обогатительной фабрики крайне важным элементом являются мельницы мокрого самоизмельчения, которые обеспечивают необходимый уровень рудоподготовки. Все барабаны мельниц имеют запроектированную частоту вращения, поэтому движение материала внутри барабана соответствует определенным режимам.

Основными причинами, снижающими надежность и эффективность работы ММС в промышленных условиях являются внезапные и постепенные отказы их узлов и механизмов. Анализ литературных источников [2-4] показал, что надежность ММС оказывает решающее влияние на эффективность их работы.

Одной из задач обеспечения максимальной пропускной способности мельницы при измельчении кимберлитов является изучение влияния параметров разгрузочных решеток: расположения решеток, конфигурации и размеров отверстий [5].

К отказам элементов ММС можно отнести: футеровочные плиты; подшипники, болтовые соединения, муфты, маслосистема, электродвигатель и пр. Краткосрочный аварийный выход из строя мельницы мокрого самоизмельчения приводит к серьезным ежедневным убыткам обогатительной фабрики.

Оперативное проведение расследования, направленное на выявление коренных причин, выведших из строя мельницу мокрого самоизмельчения, предложения оперативного решения проблемы обеспечения плановых показателей работы обогатительной фабрики и предложение перспективных вариантов осмотра технологического стационарного оборудования для снижения рисков дальнейших отказов непрерывно функционирующего оборудования обогатительной фабрики являются важными задачами для обогатительного производства.

Существенное влияние на техническое состояние мельниц мокрого самоизмельчения оказывают входные факторы: крупность руды, суммарное содержание крупных кусков в общем объеме, абразивность, прочность, хрупкость пород, которые комплексно воздействуя на элементы ММС, подвергают их износу, вибрации и, как результат, постепенному выходу из строя.

В промышленных условиях техническое состояние ММС наиболее часто отображается показателями вибродиагностики: уровень виброускорения (пик-фактор); уровень вибрации.

Ниже проанализированы результаты промышленной вибродиагностики подшипников привода мельниц [6,7]. Определение зарождающегося дефекта в подшипниках выполнялось по уровню вибрации. При этом на спектрах огибающей и мощности виброускорения на частотах, кратных основным определялись амплитуды колебаний. Из рисунка 1а, видно, что на спектре огибающей наблюдаются гармонические колебания, гармониками которых являются частоты 95,190,285,381,477,572 Гц, кратные основной частоте 95 Гц перекачивания тел качения по наружному кольцу. Это позволяет сделать заключение о возникновении в местах перекачивания тел качения по наружному кольцу подшипника периодических ударных импульсов из-за дефекта поверхности перекачивания. Выявленный дефект хорошо виден на спектрах мощности виброускорения (рисунок 1б), на которых амплитуды колебаний имеют ярко выраженные пики на частотах 95,190,285,381,477,572 Гц. Ревизия подшипников подтвердила результаты вибродиагностики, так как был обнаружен значительный износ наружного кольца и раковины на внутреннем кольце подшипников. Следовательно, модель вибродиагностики отображает техническое состояние ММС в заданных условиях эксплуатации и может быть использована в качестве информативных параметров для прогнозирования потоков отказов элементов ММС.

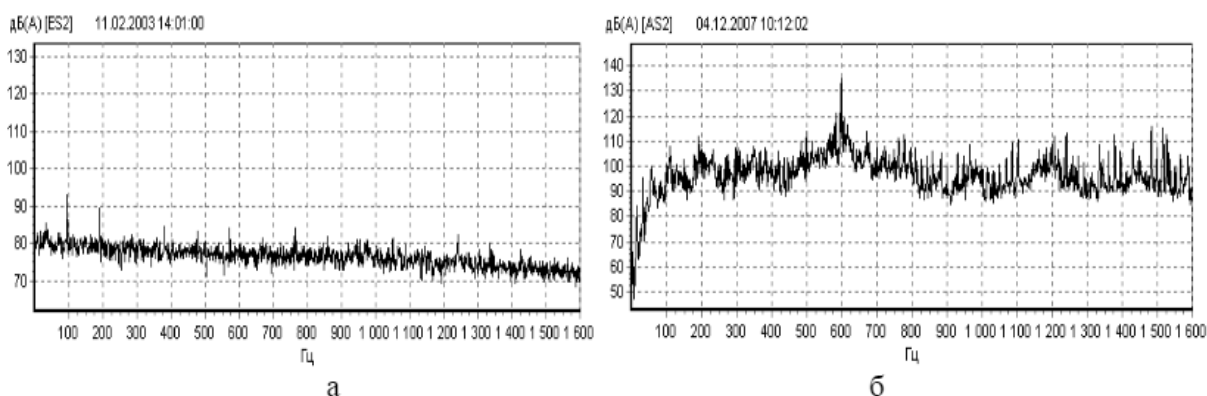


Рисунок 1 - Спектры огибающей (а) и мощности виброускорения (б) дефектного подшипника, ММС 70*2,3, No3, частотный диапазон 1600 Гц

В работе для экспресс-диагностики подшипников ММС предлагается использовать анализатор вибрации АГАТ-М. Анализатор вибрации АГАТ-М - представляет собой двухканальный анализатор вибрации, а так же один из лучших в своем классе приборов для проведения двух плоскостной динамической балансировки вращающихся агрегатов. В универсальном переносном приборе АГАТ-М имеются все основные возможности современных вибронализаторов, а также добавлены возможности, которые позволяют существенно расширить перечень задач вибродиагностики и балансировки, осуществляемых с помощью прибора.

Анализатор вибрации АГАТ-М содержит оптимальный набор функций, что позволяет решать с его помощью самые различные задачи измере-

ния параметров вибрации, диагностику подшипников качения, вибромониторинга и балансировки различных роторов в собственных опорах.

В комплекте с вибронализатором АГАТ-М поставляется программа АГАТ-ПРОТОКОЛ, с помощью которого происходит процесс разгрузки, анализа и хранения данных балансировок. Использование балансировочного прибора АГАТ-М в качестве коллектора / сборщика данных вместе с программой ДИАМАНТ-2 позволяет использовать полноценную систему прогнозируемого обслуживания объектов.

Отличительной особенностью балансировочного прибора АГАТ-М является наличие функции экспресс-диагностики подшипников, которая по одному замеру позволяет определить зарождающиеся дефекты подшипников, дефекты монтажа, а так же возможную степень их износа. Для определения собственных частот механизма и его резонансов в балансировочном приборе АГАТ-М имеются функции разгона и выбега, в том числе синхронно по 2 каналам, а также спектра собственных частот (рисунок 2).



Рисунок 2 – Состав анализатора вибрации АГАТ-М

Таким образом, на основании вышеизложенного, можно сделать вывод, обоснованные по данным диагностики подшипниковых узлов ММС модели прогнозирования технического состояния (пик-фактор и уровень вибрации) указывают на дефекты в элементах мельниц, и по росту указанных критериев можно спрогнозировать дефекты элементов ММС и их остаточный ресурс.

Библиографический список

1. Состояние и перспективы развития горнообогатительных технологий на алмазодобывающих предприятиях АК «АЛРОСА» (ПАО) / А.С. Чаадаев, И.В. Зырянов, И.Ф. Бондаренко // Горная промышленность, 2017. - №2 (132). - С. 6-13.
2. Авдохин В.М. Современные технологии обогащения алмазосодержащих кимберлитов / В.М. Авдохин, Е.Н. Чернышева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2010. - Вып. 1. - №12. - С. 465-477.
3. Савицкий Л.В. Разработка многокритериального метода выбора рациональных схем рудоподготовки и обогащения алмазосодержащих кимберлитов / Л.В. Савицкий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2010. - №6. - С. 403-404.
4. Зависимости электропотребления технологических переделов по обработке алмазосодержащей руды обогатительных фабрик ЗАО «АЛРОСА» / А.В. Ляхомский, А.В. Скоробогатов, В.В. Евсеенко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2005. - №5. - С. 239-242.
5. Оптимизация параметров разгрузочных решеток мельниц мокрого самоизмельчения для дезинтеграции кимберлитов / В.Ф. Монастырский, В.Б. Савицкий, В.В. Лекарчук, П.В. Савицкий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2008. - №6. - С. 325-327.
6. Методика выбора показателей надежности и качества горных машин для их адаптации к условиям предприятий АК «АЛРОСА» / В.Ф. Монастырский, В.С. Воронцов, В.Ю. Максютенко и др. // Горная промышленность, 2011. - №12. - С. 61-67.
7. Проектная вибродиагностика и мониторинг технического состояния механического оборудования / А.П. Ширман, А.Б. Соловьев // М.: Библиогр, 1996. - 276 с.

УДК 622.8

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ИМПОРТНОГО ПРОХОДЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ШАХТАХ КУЗБАССА

Гельгенберг И.О.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Риб С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, domikParatoz@gmail.com*

В данной работе проводится оценка эффективности применения импортного и отечественного оборудования в подготовительном забое на шахтах Кузбасса.

Ключевые слова: отечественное и импортное горнопромышленное оборудование, импортозамещение, шахты Кузбасса, угольная промышленность,

машиностроение.

Анализ применяемого оборудования на угольных шахтах показывает, что из года в год происходит усиление зависимости российских шахт от использования импортного оборудования в основных технологических процессах добычи.

За последние десять лет доля наличия основного импортного оборудования для ведения подземных горных работ выросла до следующих значений: механизированные крепи до 52,6%; очистные комбайны до 86,9%; проходческие комбайны на уровне 37%.

Наименее эффективно используются комбайны для очистных работ – всего на 45%, несмотря на то, что это оборудование является самым важным компонентом технологического процесса выемки угля длинными очистными забоями. Основной проблемой в эффективности использования очистных комбайнов отечественного производства является низкая максимальная рабочая скорость подачи (9,5 м/мин) – она ниже аналогичного показателя комбайнов производства Польши (20 м/мин) и производства Германии (33; 60 м/мин) [1].

Доли отечественного и импортного оборудования на шахтах представлены на рисунке 1.

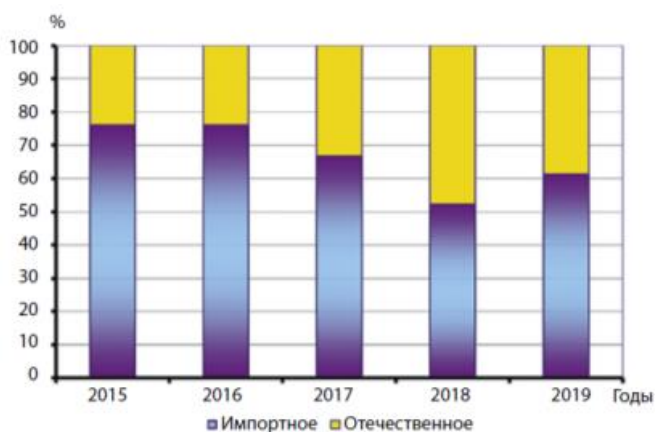


Рисунок 1 - Доли основного отечественного и импортного оборудования на шахтах

Анализируя приобретаемое угледобывающими компаниями оборудование, можно сказать, что в настоящее время при его закупках основной акцент делается на импортных образцах, имеющих технические преимущества по сравнению с отечественным оборудованием. Современные отечественные новинки хотя и уступают по некоторым параметрам импортным аналогам, но все же не отстают от мировых тенденций автоматизации и роботизации производственных процессов, что позволяет отечественным производителям техники и оборудования работать как на отечественном, так и на внешних рынках [2].

Чем больше развито машиностроение в стране и чем более конкурентоспособна его продукция, тем меньше будет импорт машин и оборудования, т.е. импортозависимость страны от машиностроительной продукции. Страны с

наиболее высокоразвитым машиностроением (Япония, Германия, Италия, Китай, Франция) имеют нулевую импортозависимость, т.е. экспорт машин и оборудования превышает их импорт. Причём в начале 90-х Китай имел достаточно большой уровень импортозависимости (сопоставимый с Россией), но с 2004 г. экспорт машин и оборудования в Китае превысил их импорт [3].

Дальнейшее развитие тенденции роста использования импортного горно-шахтного оборудования может привести к полной технологической зависимости - так не может продолжаться. Возникает необходимость импортозамещения и модернизации угольного машиностроения.

Основное горношахтное оборудование очистных забоев (комбайны, механизированные комплексы, лавные конвейеры, перегружатели, дробилки) представлено такими странами-производителями, как Германия, Россия, Польша, Великобритания, Чехия, Китай, США и Украина. Основное горношахтное оборудование подготовительных забоев (проходческие комбайны, ленточные конвейеры, перегружатели, скребковые конвейеры, буровое оборудование, самоходные вагоны) представлено такими странами-производителями, как Россия, Украина, Китай, Австрия, Германия, Великобритания, США и Австралия [4]. Достижение полного импортозамещения, в силу международного разделения труда, не представляется целесообразным.

На рисунке 2 приведено ранжирование наличия основного технологического оборудования по странам-производителям на шахтах России.

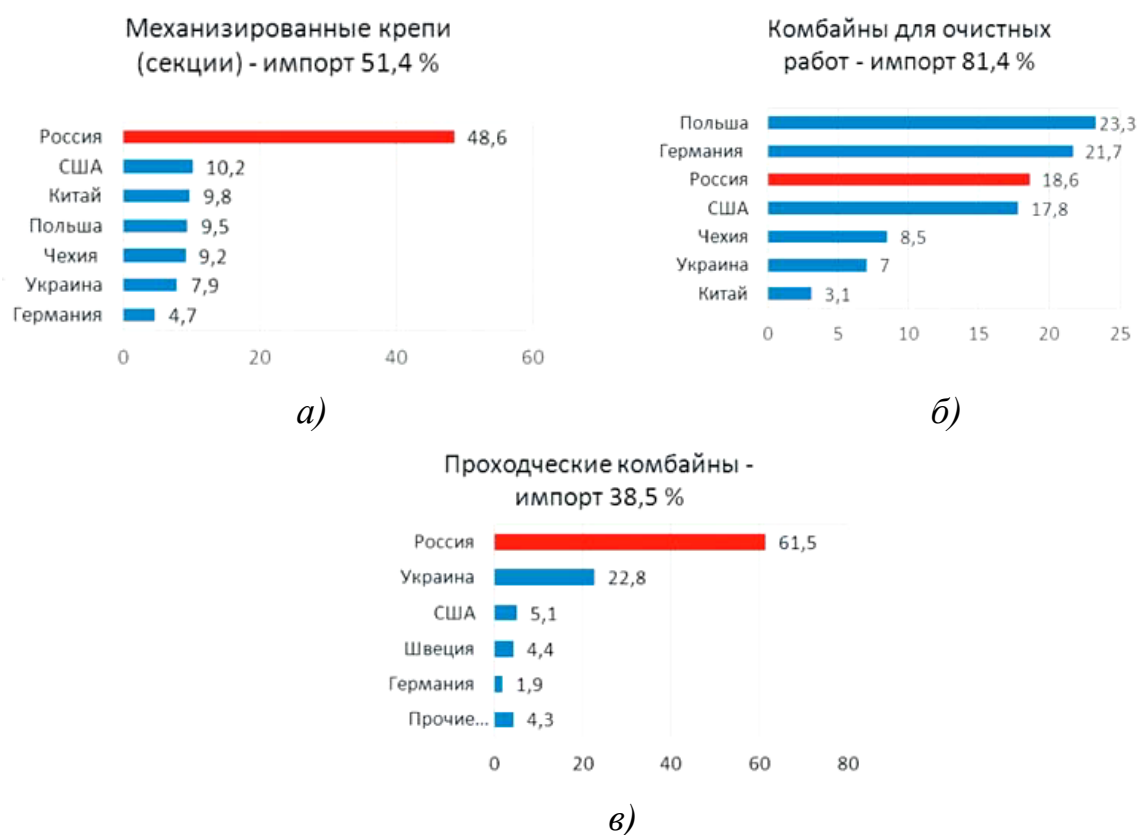


Рисунок 2 - Ранжирование наличия основного технологического оборудования зарубежных стран-производителей на шахтах России [5]

Горно-подготовительные работы должны обеспечивать своевременную подготовку выемочных столбов при раскройке полей шахт [6-8]. Интенсификация проходческих работ на шахтах Кузбасса осуществляется путем использования проходческих комбайнов непрерывного и избирательного действия производства: ОАО «Копейский машиностроительный завод» (ОАО «КМЗ»), ПАО «Новокраматорский машиностроительный завод», ООО «Ясиноватский машиностроительный завод», ООО «Юргинский машиностроительный завод», зарубежных фирм Joy, Dosco, Remag, Sandvik и других. Зарубежные комбайны непрерывного действия используются для проведения протяженных горных выработок в угольных пластах, как правило, с однородной структурой. Обобщенный диапазон ежемесячных темпов проведения выработок этими комбайнами составляет от 390 до 907 м/мес. Проходческие комбайны избирательного действия со стреловидными исполнительными органами, проигрывая по скорости проведения горных выработок комбайнам непрерывного действия, обладают, вместе с этим, способностью адаптироваться к разрушению структурно-неоднородных забойных массивов и к изменению формы, размеров сечения выработок.

Анализ тенденций формирования парка проходческих комбайнов показывает, что наиболее перспективным базовым вариантом является проходческий комбайн избирательного действия КП-21 для проходки выработки в угольных пластах с неоднородной структурой. Ожидаемые темпы проходки в ближайшей перспективе могут составить 600–800 м/мес., что соответствует требованиям конкурентоспособности с зарубежной техникой [9,10].

Необходимо отметить тот факт, что в объединении ОАО «СУЭК-Кузбасс» сегодня применяется около 20 зарубежных комбайнов непрерывного действия Sandvik MB670. Для этих моделей с годами найти замену будет нелегко. Но такой опыт есть.

В 2017 году на шахтоуправление имени А.Д. Рубана компании СУЭК-Кузбасс поступил первый российский проходческий комплекс «Урал-400А» фронтального типа для проведения выработок с анкерным креплением (рисунок 3).



Рисунок 3 - Проходческий комплекс «Урал-400А» (АО «КМЗ»)

Оборудование было изготовлено по заказу АО «СУЭК» в рамках программы импортозамещения на Копейском машиностроительном заводе. Комбайн на гусеничном ходу предназначен для механизации отбойки, возведения анкерной крепи и погрузки горной массы при проведении горных выработок прямоугольной формы сечения, как по углю, так и с 15-20% присечкой вмещающих пород крепостью до 60 МПа. «Урал-400А» обладает целым рядом параметров, позволяющих значительно повысить безопасность и производительность труда шахтеров. Это увеличенная мощность электродвигателей режущего органа комбайна, применение высокоэффективного пылеотсоса с очисткой воздуха, наличие временной крепи с козырьком, современная система управления. Но в серию этот комбайн пока не пошел.

Умеренной можно считать импортозависимость по горношахтному оборудованию, доля импорта которого варьируется от 40 до 60% в общем количестве техники (наличии) и может быть снижена за счет увеличения загрузки мощностей российских машиностроительных заводов.

Один из таких заводов в Кузбассе является ООО «Юргинский машиностроительный завод» (Юрмаш), который интересен тем, что он уже выпускал почти полный список горного подземного оборудования. Юрмаш создавался как предприятие стратегического значения, ориентированное на самостоятельную разработку и серийный выпуск сложных, высокотехнологичных, надежных изделий. Здесь накоплены знания и опыт, которые в полной мере востребованы в сегодняшней ситуации. Необходима структура, объединяющая научные силы в их взаимодействии с производством, это может стать серьезным шагом вперед для развития машиностроительной и добывающей отраслей. Завод в сотрудничестве с конструкторскими и технологическими институтами имеют все возможности для создания конкурентоспособного отечественного горно-шахтного оборудования, соответствующего лучшим мировым аналогам.

Таким образом, переход в большей степени на оборудование отечественного производства поможет сократить расходы на ремонт и покупку техники, а также внутренний рынок станет полностью независим от зарубежных стран.

Библиографический список

1. Рожков А.А. Анализ использования отечественного и зарубежного технологического оборудования на угледобывающих предприятиях России / А.А. Рожков, С.М. Карпенко // Уголь, 2019. - №7 (1120). – С. 58-64.

2. Оценка производственного потенциала отечественных машиностроительных предприятий для реализации программы импортозамещения в угольной отрасли / Л.С. Плакиткина, Ю.А. Плакиткин, К.И. Дьяченко // Уголь. - 2021. - №1 (1138). – С. 34-42.

3. Импортозависимость в угольной промышленности и перспективы импортозамещения горно-шахтного оборудования / А.А. Рожков, А.Б. Сукачев, С.М. Карпенко // Горная промышленность, 2017. - №2 (132). – С. 25-30.

4. Трубицына Н.В. Обоснование концептуальных подходов к разработке программы импортозамещения оборудования угольных шахт Кемеровской области / Н.В. Трубицына, А.С. Ярош // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности, 2014. - №2. - С. 6-14.

5. Рожков А.А. Структурный анализ импортозамещения в угольной промышленности России: реальность и прогноз / А.А. Рожков // Горная промышленность, 2017. - №6 (136). – С. 4-13.

6. Оценка уровня промышленной безопасности угольной промышленности и технического состояния отечественного горного оборудования / В.И. Ефимов, В.И. Панарин, В.А. Фатуев, А.Е. Пушкарев // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле, 2017. - №4. – С. 121-130.

7. Обрядин А.А. Оценка эффективности применения отечественного и импортного оборудования в подготовительном забое / Обрядин А.А. Черешнева Е.В., Риб С.В., Никитина А.М.– Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13–15 июня 2018 г. Вып. 22. Ч. 2 : Технические науки / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. М. В. Темлянцева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2018. – С. 96-100.

8. Никитина, А.М. Увеличение темпов проведения горных выработок в условиях шахт Кузбасса / А.М. Никитина, С.В. Риб, Д.М. Борзых // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 19–21 мая 2020 года / Под общей редакцией профессора М.В. Темлянцева. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2020. – С. 142-145.

9. Технический уровень и эффективность применения отечественного и зарубежного очистного и проходческого оборудования в угольной отрасли Российской Федерации / С.В. Козлов, В.Ф. Замышляев, В.Ю. Линник // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), 2013. - №1. – С. 435-460.

10. Тенденции формирования парка проходческих комбайнов на шахтах Кузбасса / Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2013. - №2. – С. 14-16.

III МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 669.15-198

БРИКЕТИРОВАННАЯ ШИХТА ДЛЯ ВЫПЛАВКИ КРЕМНИСТЫХ СПЛАВОВ

Мосин Р.А. Лазаревская М.Н. Лазаревский П.П.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Уманский А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: lazura@ya.ru*

Новым направлением в технологии карбида кремния, позволяющим достичь нужных характеристик продукта и отвечающим требованиям ресурсосбережения, является использование в качестве сырья тонкодисперсных кремнеземсодержащих материалов техногенного и природного происхождения, не представляющих ценности и имеющих большие объемы накоплений. Целью проведения исследований по определению параметров брикетирования микрокремнезема с углеродистым восстановителем является определение возможности получения карбида кремния из брикетированной моношихты.

Ключевые слова: микрокремнезем, карбид кремния, брикетирование, углеродистый восстановитель.

В лабораторных условиях проведена исследовательская работа по определению технологических параметров брикетирования микрокремнезема с углеродистым восстановителем. На лабораторном брикет-прессе изготовлены брикеты с различными видами связующих материалов. Для изготовления брикетов были использованы следующие сырьевые материалы:

- микрокремнезем;
- полукокс;
- жидкое стекло натриевое плотностью 1320 кг/м³;
- бентонитовый порошок;
- шлак доменный гранулированный молотый;
- борная кислота сухая;
- опилки древесные⁴
- молотый пеносиликат фр.0 – 0,14 мм;
- кислота серная плотностью 1800 кг/м³;

Химический состав микрокремнезема представлен в таблице 1.

Результаты исследований минерального состава микрокремнезема по мощности рентгеноструктурного анализа (рисунок 1) показали, что основным компонентом материала является аморфный диоксид кремния и не содержит других модификаций.

Таблица 1 – Химический состав микрокремнезема

Содержание компонентов, масс %											
C	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P	S	CaO	FeO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Zn	Pb
1,47	0,65	87,1	0,09	0,23	0,35	1,26	2,11	1,08	2,07	0,16	1,48

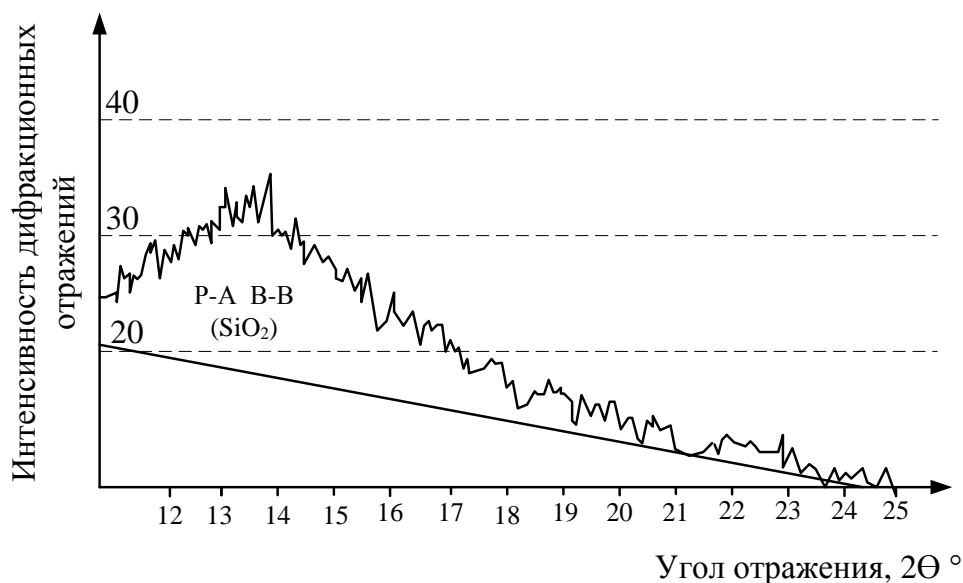


Рисунок 1 – Рентгенофазовая дифрактограмма микрокремнезема

Количество микрокремнезема и углеродистого восстановителя стехиометрически рассчитывали по реакции получения карбида кремния.

Количественный состав шихты для брикетирования, условия изготовления и качественные характеристики брикетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Количественный состав шихты и характеристики брикетов

№ состава	Состав	Количество, % по массе	Усилие прессования, МПа	Плотность брикетов, кг/м ³	Прочность/осыпаемость, %
1	Микрокремнезем	46,34	29	1370	86,03/13,97 (1 сутки)
	Полукокс	33,33			
	Бентонитовый порошок (влажность 10%)	4,07			
	Вода	16,26			
2	Микрокремнезем	47,11	29	1393	98,55/1,45 (2 суток)
	Полукокс	33,88			
	Бентонитовый порошок (влажность 10%)	2,48			
	Вода	16,53			
3	Микрокремнезем	47,64	29	1379	91,08/8,92 (1 сутки)
	Полукокс	34,27			
	Бентонитовый порошок (влажность 10%)	1,38			
	Вода	16,71			

Продолжение таблицы 2

№ состава	Состав	Количество, % по массе	Усилие прессования, МПа	Плотность брикетов, кг/м ³	Прочность/осыпаемость, %
4	Микрокремнезем Полукокс Борная кислота Вода	47,50 34,17 1,67 16,66	29	1463	94,47/5,53 (1 сутки)
5	Микрокремнезем Полукокс Молотый граншлак Древесные опилки Жидкое натриевое стекло Вода	44,53 32,03 1,17 3,91 1,17 17,19	29	1318	86,51/13,49 (1 сутки)
6	Микрокремнезем Полукокс Молотый пеносиликат Жидкое натриевое стекло Вода	45,97 33,06 2,02 1,21 17,74	29	1326	98,18/1,82 (1 сутки)
7	Микрокремнезем Полукокс Молотый пеносиликат Серная кислота Вода	46,15 33,20 2,02 0,81 17,82	29	1366	94,47/5,53 (1 сутки)

Брикеты сушились в естественных условиях, при температуре 15°C. Определение прочности брикетов определялось методом 4-х кратного сбрасывания с высоты 1,5 м.

Экспериментальные образцы (составы №№ 2,4,5,6,7) исследовались на предмет получения карбида кремния в виде брикета с достаточной транспортной прочностью.

Изотермическую выдержку брикетов проводили в печи сопротивления (Таммана) с трубчатым угольным нагревателем при температуре 1600 °С. Графитовый тигель с брикетом, состоящим из микрокремнезема и полукоксом, помещали в предварительно разогретую печь и выдерживали в течение 40 мин. Фотографии брикетов до и после термической обработки представлены на рисунках 2–6.

Результаты испытаний брикетов на механическую прочность показали, что независимо от вида связующего при прочих равных условиях (количественный и качественный состав брикетов, условия получения карбида кремния), полученные брикеты карбида кремния разрушаются при минимальном физическом воздействии – нажатии [1].



Рисунок 2 – Брикет состав № 2



Рисунок 3 – Брикет состав № 4



Рисунок 4 – Брикет состав № 5



Рисунок 5 – Брикет состав № 6



Рисунок 6 – Брикет состав № 7

Таким образом, в результате низкой механической прочности принято решение производить порошок карбида кремния с последующим брикетированием. Для определения технологических параметров брикетирования карбида кремния проведены работы по получению опытной пробы карбида кремния.

Для проведения опытных плавок были изготовлены брикеты с органическим связующим (клей карбоксиметилцеллюлозный КМЦ) для снижения количества вносимых в шихту со связующим примесей.

Для изготовления брикетов были использованы следующие сырьевые материалы:

1. Микрокремнезем;
2. Полукокс;
3. Клей КМЦ;
4. Вода.

Количество микрокремнезема и углеродистого восстановителя рассчитывался, исходя из содержания диоксида кремния и углерода в них, на основании реакции получения карбида кремния с 10 % избытком углерода. Для приготовления раствора клея КМЦ 21 г сухой смеси растворялись в 0,5 л теплой воды. Раствор выстаивался 2 часа для полного растворения клея. Количественный состав шихты для брикетирования, условия изготовления и качественные характеристики брикетов представлены в таблице 3.

Брикеты сушили в естественных условиях, при температуре 23°C. Прочность брикетов определяли методом 5-ного кратного сбрасывания с высоты 1,5 м. При использовании раствора мелассы в брикетировании микрокремнезема с углеродистым восстановителем возникли проблемы с извлечением брикета из формы (прилипание). Использование КМЦ в количестве 0,42 % на сухое вещество позволяет получать брикеты с высокой механической прочностью.

Таблица 3 – Количественный состав шихты и характеристики брикетов

Состав	Кол-во, % по массе	Усилие прессования, МПа	Плотность брикетов, кг/м ³	Прочность/осыпаемость, %
Микрокремнезем	46,62	29	1308	94,65/5,35
Полукокс	36,72			
Клей КМЦ	8,33			
Вода	8,33			

Опытные плавки проводили в печи сопротивления с трубчатым угольным нагревателем. Нижняя часть печи оборудована шиберной заслонкой, которая позволяет при ее открытии обеспечить сквозное прохождение материалов через внутреннее пространство нагревателя. В предварительно разогретую печь до температуры 1600 °С загружали брикеты, таким образом, чтобы они полностью заполняли пространство нагревателя. Сверху рабочее пространство нагревателя закрывали асбестовой пробкой с отверстием в центре (d = 20 мм) для выхода газов.

Продолжительность изотермической выдержки в среднем составила 60 мин. Индикатором завершения восстановительных процессов являлось пламявыделение (рисунок 8). Благодаря интенсивности пламявыделения можно судить о протекании и прекращении восстановительного процесса в результате, которого образующийся оксид углерода(II) догорает на выходе из печи.

В рабочем состоянии шиберная заслонка закрывает нижнее отверстие печи и обеспечивает задержку букетов. В результате термического воздействия в брикетах протекает процесс восстановления кремния, до карбида и

происходит их разрушение. Образовавшийся карбид кремния накапливался в нижней части печи, который посредством открытия шибера выгружали в поддон. В среднем за одну плавку выгружали 300 г карбида кремния. Химический и рентгенофазовый анализ приведен в таблице 4 и на рисунке 8 [1].

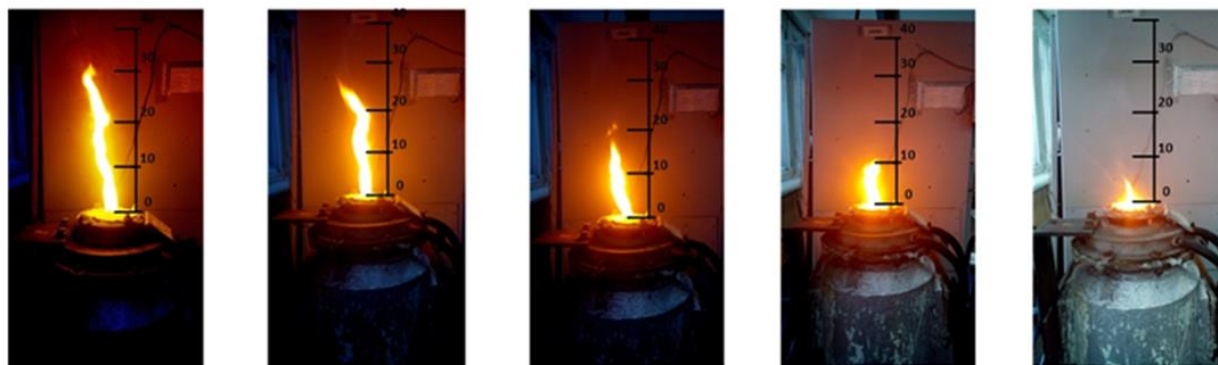


Рисунок 7 – Пламявыделение в процессе изотермической выдержки

Таблица 4 – Химический состав карбида кремния

Массовая доля компонента, %			
SiO _{2(ост)}	C _(ост)	SiC	Fe ₃ C
7,06	3,08	80,89	3,49

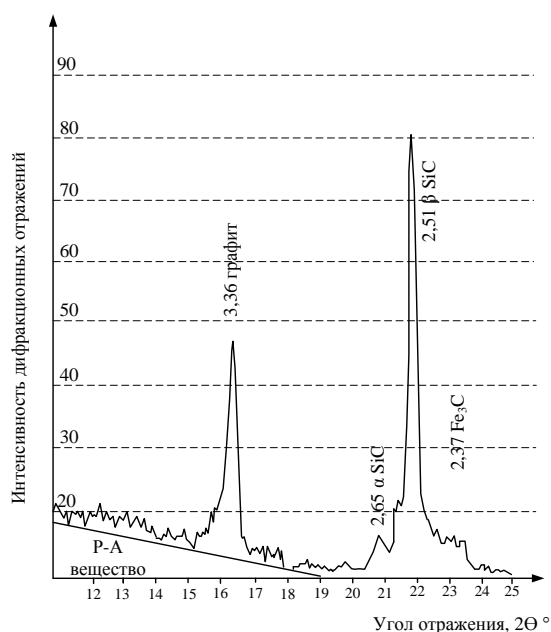


Рисунок 8 – Рентгенофазовая дифрактограмма карбида кремния

Из результатов химического и рентгенофазового анализа следует, что в продукте восстановления присутствует остаточный аморфный кремнезем и углерод в виде графита. Вероятно, это связано с тем, что в процессе выгрузки в карбид кремния попадает часть не прореагировавшей шихты из верхних горизонтов печи.

Для оценки физического и химического воздействия на нагреватель после эксперимента его демонтировали и визуально осмотрели на предмет повреждений. Фотографии нагревателя приведены на рисунке 9.

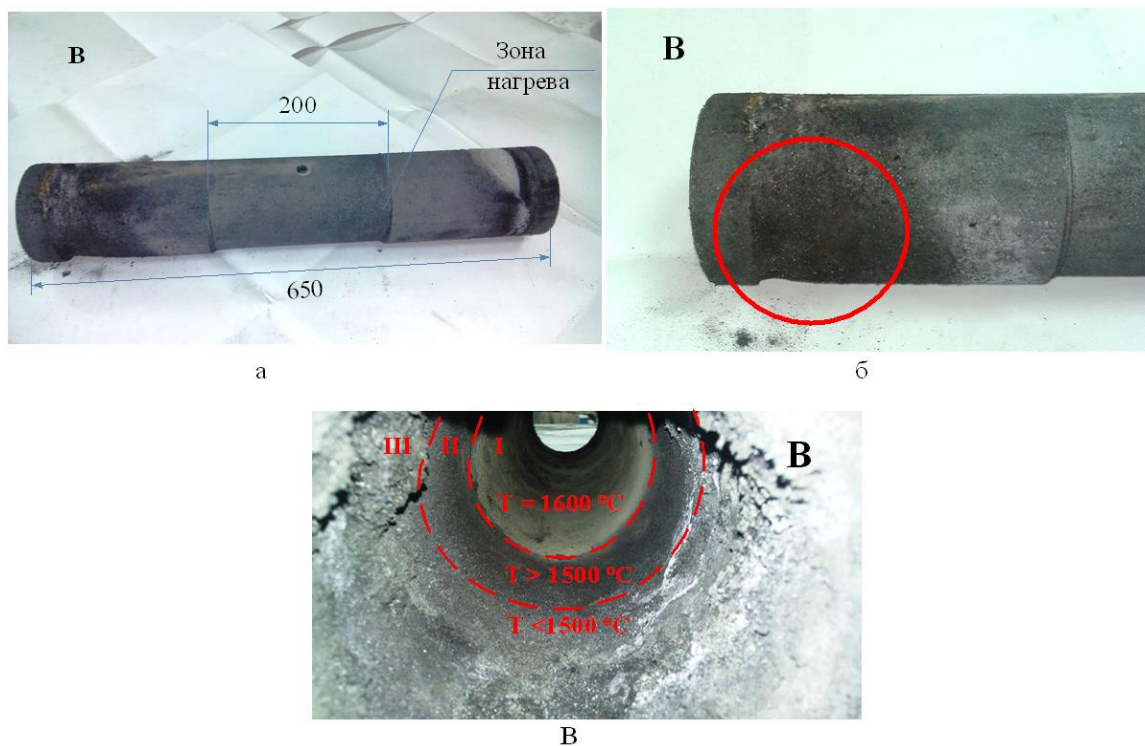


Рисунок 9 – Нагреватель трубчатый после проведения экспериментов

На рисунке 9а представлены габариты нагревателя печи сопротивления. Осмотр нагревателя позволил установить наличие повреждений с внешней стороны (рисунок 9б). Из рисунка 9б видно, что в процессе экспериментов происходило подгорание нагревателя с внешней стороны, что связано с неплотно состыкованной крышкой печи с кожухом. В результате подсоса воздуха происходило окисление нагревателя.

Визуальный осмотр внутреннего пространства нагревателя (рисунок 9в) позволил установить основные зоны процесса восстановления кремния до карбида.

Зона I – основное реакционное пространство, в котором происходит карбидообразование и восстановление кремния на монооксида.

Зона II – предположительно в данном пространстве протекает процесс диспропорционирования монооксида кремния с образованием аморфного кремнезема.

Зона III – область конденсирования аморфного кремнезема на поверхности брикетов и стенках нагревателя.

При этом зона I покрыта карбидом кремния пронизывающим всю толщину стенки нагревателя. Это факт положительно влияет на физические характеристики нагревателя. В результате карбидизации улучшается стойкость нагревателя к окислению и износу, что обеспечивает сохранение равномерного распределения токовой нагрузки и нагрева [1].

Комплекс проведенных исследований показал, что микрокремнезем производства является перспективным металлургическим сырьем и может быть использован для производства карбида кремния.

Библиографический список

1. Лазаревский П.П. Комплексное изучение металлургических характеристик и повышение эффективности использования кварцитов Сунгайского рудопоявления: дисс. канд. техн. наук, спец. 05.16.02 / П.П. Лазаревский – Новокузнецк, 2013. – 120 с.

УДК: 669.15-198

ПОЛУЧЕНИЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ ИЗ ВЫСОКОЗОЛЬНЫХ УГЛЕЙ

Мосин Р.А., Лазаревская М.Н., Лазаревский П.П.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Уманский А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: lazura@ya.ru*

В рамках исследовательской работы высокотемпературная пиролизация длиннопламенных высокозольных улей. В результате высокой концентрации кремнезема в золе угля при изотермической выдержке произошла реакция восстановления кремния до карбида.

Ключевые слова: углеродистый восстановитель, карбид кремния, кремнезем, пиролиз.

Традиционно одним из требований к углеродистым восстановителям при выплавке кремнистых сплавов является низкое содержание золы [1]. Однако в составе золы различных углей содержится кремнезем. При этом его концентрация изменяется в широких пределах. Целью исследований является определение возможности получения карбида кремния из высокозольных углей.

Опытные работы проводили в индукционной печи УИ-35П при температуре 1650 – 1680 °С. В качестве исходного сырья использовали уголь марки Д (фр. 0 – 40 мм). Технический анализ углей: зола A_d 12,91%, летучие V_d 28,78%, влаг W_t 4,25, содержание SiO_2 в золе 63,41%. Навеску угля помещали в графитовую трубу ($\varnothing_{внутр} = 80$ мм.), установленную в тигель индукционной печи, и производили набор мощности. В результате воздействия электромагнитного поля происходила передача тепловой энергии нагреваемой графитовой трубы к углю. С целью предотвращения взаимодействия угля с воздухом в процессе нагрева верхний торец трубы плотно закрывали асбестовой крышкой. Для отвода образующихся газов в крышке выполнено отверстие 10 мм в которое установлена кварцевая трубка. Контроль температуры осуществляли посредством термопары ВР5/20 спай, которой размещен в центр реакционной зоны графитовой трубы. Схема лабораторной установки приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема лабораторной установки

В процессе нагрева углей наблюдалось обильное газообразование сопровождающееся «плотным» оранжево-белым дымом. После достижения температуры 1650°C производилась изотермическая выдержка до прекращения интенсивного дымообразования. Таким образом, суммарная продолжительность процесса составила 34 мин. После изотермической выдержки содержимое печи выгружали в стальную изложницу. Фотографии угля до и после термообработки (пиролиза) приведены на рисунке 2.

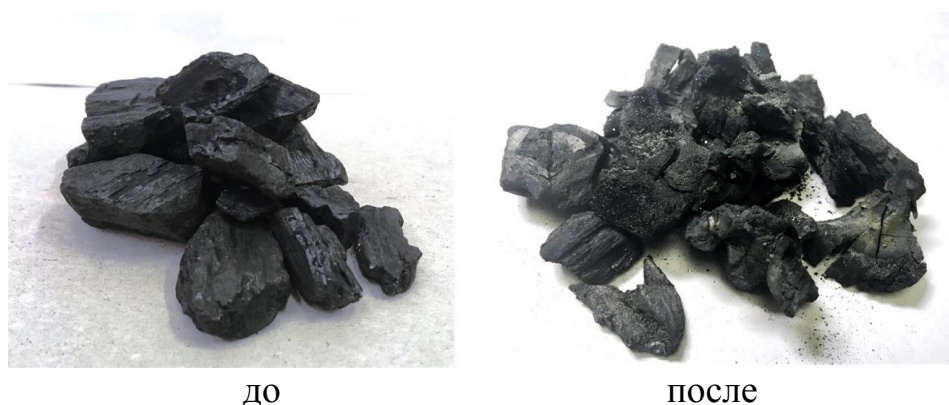


Рисунок 2 – Образцы угля до и после термообработки (пиролиза)

Получен продукт, представленный пористым пиролизным остатком с многочисленными порами и трещинами. При этом на поверхности наблюдалось образование черных блестящих кристаллов размером до 1 мм.

Потеря массы от исходной навески угля составила 33 %, в результате отсева пиролизного остатка количество мелкой фракции менее 5 мм составило 44 %.

Полученный пиролизный остаток подвергли химическому и рентгенофазовому анализу результаты приведены в таблице 1 и на рисунке 3.

Таблица 1 – Результаты химического и рентгенофазового анализа

Технические параметры	Показатели, %
зола Ad	29,35
летучие Vd	1,23
влага Wt	0,11
углерод (C)	85,07
сера (S)	1,81
фосфор (P)	0,07
Состав золы	Содержание компонентов, %
Fe ₂ O ₃	15,71
CaO	8,17
MgO	3,64
Al ₂ O ₃	10,7
SiO ₂	отсутствует
K ₂ O	0,14
Na ₂ O	3,11
TiO ₂	0,49
Si	1,17
SiC	53,06
Рентгенофазовый анализ (РФА)	
Много: двухмерноупорядоченный углерод;	
Присутствует: SiC (4H);	
Немного: C (графит), α- Fe ₂ O ₃ (гематит), примеси	

Из результатов химического и рентгенофазового анализа следует, что в золе полученного продукта отсутствует остаточный кремнезем (SiO₂), при этом кремний представлен в виде карбида (SiC), что свидетельствует о полном протекании реакции восстановления кремния.

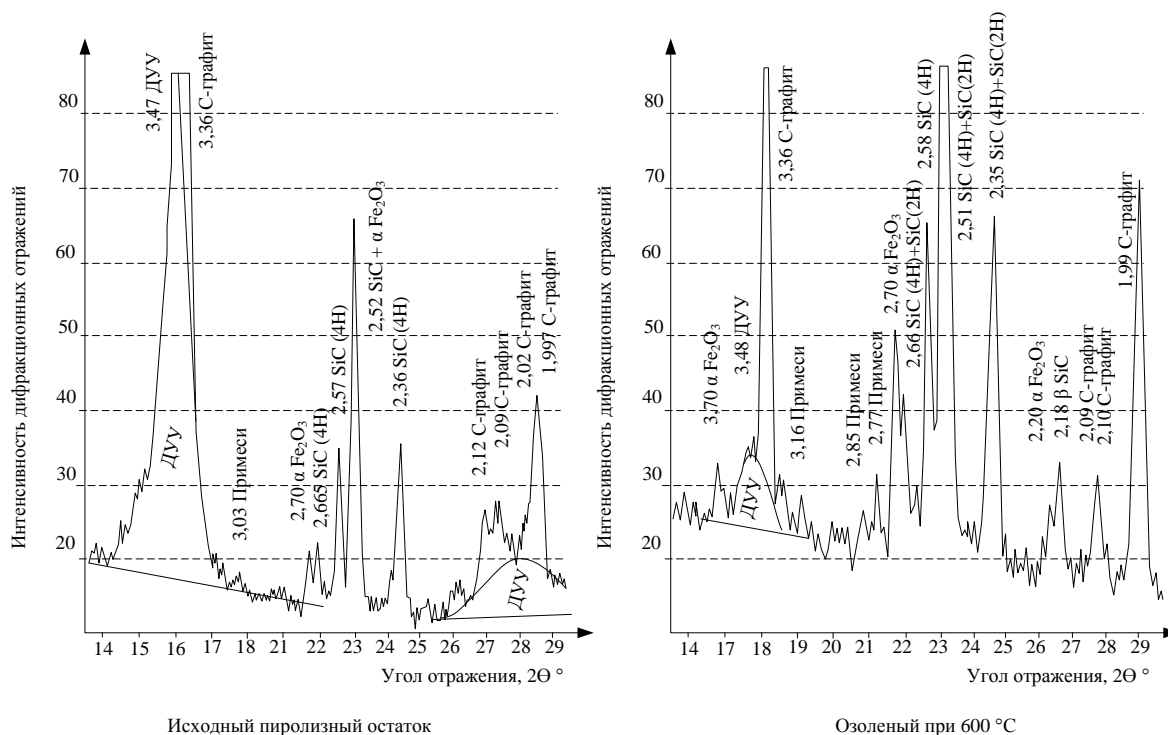


Рисунок 3 – Участок рентгенофазовой дифрактограммы

Кроме того результаты рентгенофазового анализа показывают, что весь карбид кремния находится в виде α модификации с 4-х гексагональной решеткой, что также характеризует полноту протекания реакции синтеза карбида кремния с последующей перекристаллизацией [2].

Таким образом, полученные результаты показывают принципиальную возможность синтеза карбида кремния из кремнезема, содержащегося в золе углей с получением высокорекреакционного углеродистого материала. Полученные качественные показатели пиролизного остатка отвечают требованиям, предъявляемым к углеродистому восстановителю типа и позволяют рассматривать его как сырье для производства ферросплавов.

Библиографический список

1. Мизин, В. Г. Углеродистые восстановители для ферросплавов / В.Г. Мизин, Г. В. Серов – М.: Металлургия, 1976. – 272 с.
2. Лазаревский П.П. Комплексное изучение металлургических характеристик и повышение эффективности использования кварцитов Сунгайского рудопроявления: дисс. канд. техн. наук, спец. 05.16.02 / П.П. Лазаревский – Новокузнецк, 2013. – 120 с.

УДК: 669.15-198

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ВЫПЛАВКИ ФЕРРОСИЛИЦИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГАЗООБРАЗНОГО АЗОТА

Лазаревская М.Н. Лазаревский П.П.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Уманский А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: lazura@ya.ru*

В рамках исследовательской работы проведена серия экспериментальных плавок ферросилиция с продувкой печного пространства газообразным азотом. По результатам испытаний определены технологические параметры выплавки ферросилиция с применением газообразного азота

Ключевые слова: ферросилиций, газообразный азот, печь постоянного тока.

Ранее проведенные исследования по оценке металлургических характеристик брикетированной моношихты для производства технического кремния на плазменной печи теоретически подтвердили влияние газообразного азота на восстановительные процессы при производстве кремнистых сплавов. Согласно разработанным технологическим решениям в рудотермической однофазной печи постоянного тока (W 250 кВА) проведена серия опытных плавок ферросилиция.

Для выполнения работ использованы следующие материалы:

- кварцит (SiO_2 не менее 98 %) фр. 20 – 60 мм;
- коксовый орешек (не более V_d 2,0 %, A_d 13,0 %, W_t 8,0);
- стальная стружка;

На первом этапе опытной компании произведено 11 выпусков. На выпусках 7 – 9 в пенное пространство подавался газообразный азот. Азот в реакционную зону подавался через стальную трубку, смонтированную в теле самоспекающегося электрода. В таблице 1 приведены основные показатели опытных плавов.

Для более объективной оценки сравнительный анализ проводили по результатам плавов с азотом и после прекращения подачи азота.

Таблица 1 – Основные показатели опытных плавов

№ вып.	Кол-во металла, кг	Расход эл/эн, кВт*ч	Удельный расход эл/эн, кВт*ч/т	Произв-ть, кг/ч	Si в металле, %	Количество Si, кг
1	92	600	6,521739	138,00	21,1	19,41
2	107,6	648	6,022	35,87	25,4	27,33
3	63,4	594	9,369	16,54	24,3	15,41
4	82,2	720	8,759	21,92	35,2	28,93
5	59,8	684	11,438	15,95	29,3	17,52
6	60	402	6,700	15,65	31,4	18,84
<i>Азот</i>						
7	86,4	480	5,556	34,56	28,4	24,54
8	96,6	366	3,789	44,58	35	33,81
9	80,8	366	4,530	32,32	35,9	29,01
Сред.	87,93		4,625	37,15	33,1	29,12
<i>Без азота</i>						
10	104	540	5,192	39,00	27	28,08
11	65	564	8,677	20,53	26,3	17,10
Сред.	84,5		6,935	29,76	26,65	22,59

Сравнительный анализ результатов выплавки ферросилиция с продувкой азотом и после прекращения подачи азота показал, что при продувке удельный расход электроэнергии в среднем на 33% ниже, чем после продувки, при этом средневзвешенная производительность увеличилась на 7,39 кг/час. Концентрация кремния при продувке 6,48% выше.

На втором этапе для подтверждения влияния постоянного тока на процесс восстановления кремния при продувке азотом повторно проведена опытная выплавка ферросилиция.

Для выполнения работ использованы следующие материалы:

- кварцит (SiO_2 не менее 98 %) фр. 20 – 40 мм;
- кокс (не более V_d 2,0%, A_d 13,0%, W_t 8,0);
- уголь ДО (не более V_d 40,0%, A_d 13,0%, W_t 13,0);
- стальная стружка;

Выплавка проводилась непрерывным процессом с периодическим вы-

пуском продуктов плавки. Токовая нагрузка на электроде 4,5 – 6,5 кА. В печь загружалась колоша следующего состава:

- кварцит 100 кг;
- кокс 25 кг;
- уголь ДО 40 кг;
- стальная стружка 55 кг.

Произведено 30 выпусков. На выпусках 15 – 24 в печное пространство подавался газообразный азот. Азот в реакционную зону подавался через стальную трубку, смонтированную в теле самоспекающегося электрода. Расход азота 3 м³/ч. Для более объективной оценки сравнительный анализ проводили по результатам плавов с азотом и после прекращения подачи азота.



Рисунок 1 – Фотографии самоспекающегося электрода

Таблица 2 – Основные показатели опытных работ

№ вып.	Кол-во металла, кг	Расход эл/эн, кВт*ч	Удельный расход эл/эн, кВт*ч/т	Произв-ть, кг/ч	Si в металле, %	Количество Si, кг
1	133	522	3925	42,00	30,9	41,10
2	86,2	516	5986	28,73	38,83	33,47
3	108	444	4111	36,00	39,55	42,71
4	127	480	3780	42,33	42,2	53,59
5	128,5	558	4342	42,83	42,3	54,36
6	108	540	5000	36,00	34,38	37,13
7	90,4	474	5243	30,13	35,53	32,12
8	129	714	5535	28,35	39,23	50,61
9	129	468	3628	43,00	40,8	52,63
10	135	1134	8400	45,00	47,2	63,72
11	132	534	4045	44,00	45,8	60,46
12	129	582	4512	43,00	47	60,63
13	93,6	486	5192	31,20	41,9	39,22
14	134,5	390	2900	44,83	42,8	57,57
Сред.	118,8	560	4715	38,04	40,60	48,52

Продолжение таблицы 2

№ вып.	Кол-во металла, кг	Расход эл/эн, кВт*ч	Удельный расход эл/эн, кВт*ч/т	Произв-ть, кг/ч	Si в металле, %	Количество Si, кг
<i>Азот</i>						
15	140,4	594	4231	46,80	47,8	67,11
16	161	576	3578	53,67	45,9	73,90
17	127,8	504	3944	51,12	46,4	59,30
18	84	516	6143	30,00	40,8	34,27
19	111	624	5622	34,15	41,7	46,29
20	109,8	420	3825	42,50	42,2	46,34
21	107,2	468	4366	33,85	44,2	47,38
22	159	678	4264	50,21	43,5	69,17
23	172,2	612	3554	55,85	47,1	81,11
24	145,2	636	4380	47,09	45,1	65,49
Сред.	131,76	563	4271	44,46	44,47	59,03
<i>Без азот</i>						
25	88,3	456	5164	31,16	40,1	35,41
26	147,2	558	3791	50,47	43,7	64,33
27	116,8	564	4829	38,93	43,6	50,92
28	128,8	594	4612	42,93	45,1	58,09
29	126,6	522	4123	42,20	46,6	59,00
30	98,3	492	5005	28,63	47,1	46,30
Сред.	117,7	531	4513	38,83	44,37	52,34

Сравнительный анализ результатов выплавки ферросилиция с продувкой азотом и без продувки показал, что при продувке удельный расход электроэнергии в среднем на 242 кВт ниже, что составляет 5,4 %, при этом наблюдается увеличение производительности на 5,63 кг/час или на 12,7 %.

Следует отметить, что при продувке азота наблюдалось некоторое ухудшение работы печи – спекание шихтовых материалов на колошнике, что потребовало регулярного рыхления. Однако проплавление шихтовых материалов интенсифицировался, металл на выпуске был перегрет, наблюдалось увеличение температуры на входе в газоочистку в среднем на 30 °С. Кроме того стабилизировалась токовая нагрузка, что позволило работать на токе 6,5 кА без резких колебаний.

Заключение

1. Вдувание газообразного азота в рабочее пространство печи оказывает положительное влияние на процесс выплавки кремния:

- снижение удельного расхода электроэнергии;
- увеличение производительности;
- повышение извлечения кремния.

2. Выплавка кремнистых сплавов в условиях печи постоянного тока с продувкой азотом позволит применять окускованные мелкодисперсные материалы, моношихту.

Библиографический список

1. Рябчиков, И. В. Роль газовой фазы при взаимодействии SiO₂ с углеродом / И. В. Рябчиков, Я. С. Щедровицкий // ДАН СССР, 1964. – Т. 158. –С. 427–428.
2. Пат. 2716906 Российская Федерация, МПК С22С 33/00. Способ выплавки кремния и ферросилиция / Павлов В.В. Лазаревский П.П. Темлянец М.В., и др., заявитель и патентообладатель ООО «Регионстрой». ; опубл. 17.03.2020, Бюл. № 8.

УДК 621.787: 621. 9. 048

КОМБИНИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА КАК СПОСОБ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Кашин С.С.

Руководитель: д-р техн. наук, доцент Осколкова Т.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: s.kashin@inbox.ru*

В данной статье рассмотрено влияние комбинированной электромеханической обработки на структуру и твердость поверхностных слоев стали марки 40Х. Установлено, что формируется упрочненный поверхностный слой толщиной 1200 мкм, состоящий из двух зон: поверхностная зона, состоит из мартенсита, вторая переходная зона в своей структуре содержит мартенсит и феррит. Упрочненный поверхностный слой плавно переходит в исходную феррито-перлитную структуру.

Ключевые слова: сталь, поверхностное упрочнение, комбинированная электромеханическая обработка, твердость, микроструктура.

Развитие машиностроения, горнодобывающей и деревообрабатывающей промышленности в нашей стране связано с применением среднеуглеродистых улучшаемых сталей. Формирование упрочненных поверхностных слоёв на этих сталях, работающих в условиях износа, будет способствовать повышению эксплуатационных характеристик изделий [1].

В настоящее время существует много методов упрочнения поверхности деталей из конструкционных сталей с целью создания слоев и покрытий с заданными свойствами [2, 3], однако, не всегда можно получить необходимые свойства поверхностного слоя деталей в процессе обработки. Одним из эффективных методов поверхностного упрочнения деталей машин является комбинированная электромеханическая обработка (КЭМО), позволяющая значительно повысить надежность и долговечность деталей машин. При данной обработке поверхностное упрочнение будет происходить за счёт

электромеханической обработки (ЭМО) и поверхностного пластического деформирования (ППД) [4].

В рамках настоящей работы производилась комбинированная поверхностная электромеханическая обработка стали марки 40X, которая используется для производства деталей, работающих в триботехнических условиях. Химический состав данной стали соответствует требованиям ГОСТ 4543-2016. Перед проведением КЭМО образцы размером 10 x 10 x 20 мм подвергались нормализации. КЭМО выполнялась на сварочной рельефной машине МР 2517 по режимам, представленным в табл. 1.

Способ КЭМО включает в себя воздействие на поверхностный слой электрического тока больших значений и поверхностной пластической деформации. В результате этого выделяется значительное количество джоуле-ва тепла и тепла от деформации и трения с интенсивным нагревом поверхности до температур в 1000–1300 °С [5–7]. В дальнейшем происходит сверхскоростная закалка при интенсивном охлаждении поверхности путём отвода тепла вглубь материала и окружающую среду. При таком высокоэнергетическом и высокоскоростном воздействии на поверхностные слои металла происходят структурные и фазовые превращения с образованием структур с высокими показателями твердости на основе мелкодисперсного мартенсита.

Таблица 1 - Режимы обработок стали марки 40X способом комбинированной ЭМО

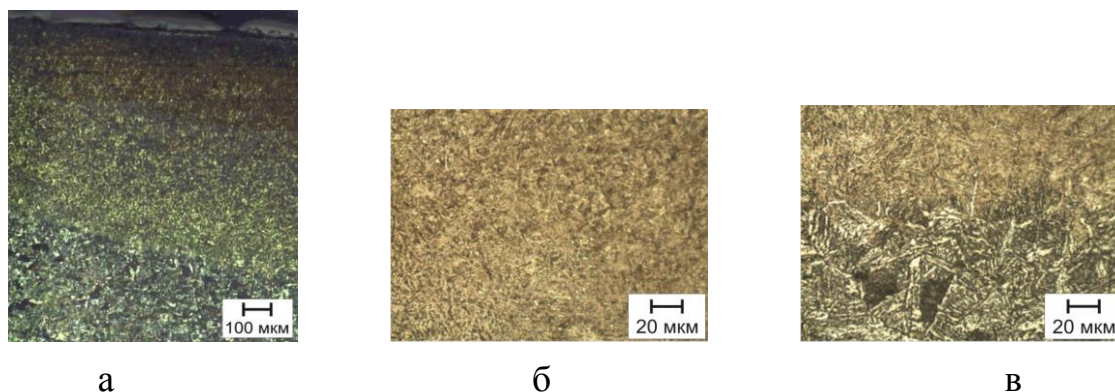
№ образца	Сила тока, кА	Время импульса, сек.	Количество импульсов	Приложенная нагрузка, МПа
2	39	0,02	1	250
3	39	0,02	2	250

Исследования упрочненных слоев проводились с использованием оптической металлографии (микроскопы OLIMPUS – GX 50), метода оценки микротвёрдости (прибор HVS-1000) по ГОСТ 2999-75 «Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу», метода оценки величины зерна в соответствии с ГОСТ 5639-82 «Методы выявления и определения величины зерна».

Металлографические исследования образцов, обработанных по режиму 1, имеют упрочнённый слой толщиной 700 мкм (рисунок 1, а), который состоит из двух зон: первая поверхностная зона толщиной 500 мкм и номером зерна 7,8 представлена мелкоигльчатый мартенситом (рисунок 1, а, б) с твёрдостью 593 НV. Ниже расположена переходная зона (рисунок 1, а, в) толщиной 200 мкм со структурой перлита и феррита с видманшtedтовой направленностью. Твёрдость данной зоны 233 НV, номер зерна 4,5. Переходная зона плавно переходит в исходную равновесную феррито-перлитную структуру. Значительная по толщине поверхностная зона разогрева по данному режиму, а также интенсивный теплоотвод от высоких температур способствовали формированию структуры видманшtedт, которая является дефектной и недопустимой для эксплуатации.

Режим 2 при всех прочих равных условиях относительно режима 1 от-

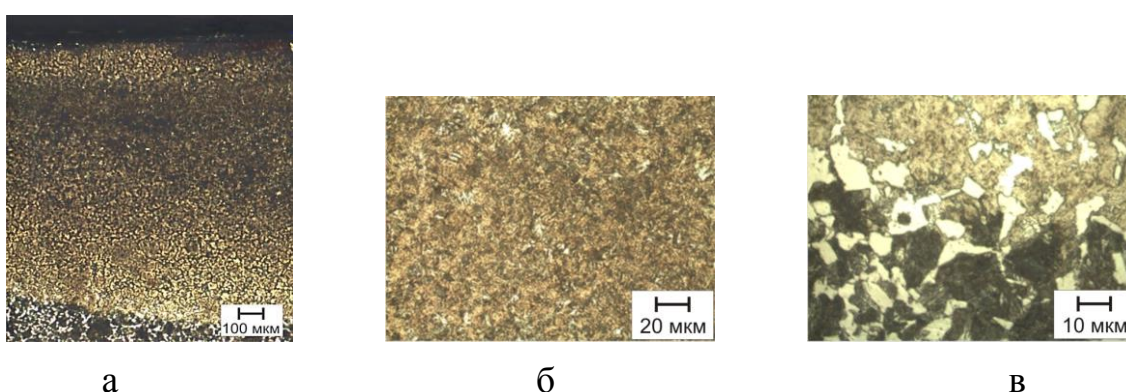
личается только количеством импульса обработки. По данному режиму используется при обработке два импульса. Микроструктура, полученная после упрочнения стали по режиму 2, представлена на рисунке 2.



а – внешний вид упрочнённого слоя; б – внешняя упрочнённая зона;
в – переходная зона

Рисунок 1 - Микроструктура стали марки 40X после комбинированной электромеханической обработки по режиму 1

Металлографически выявлено увеличение толщины упрочнённого слоя до значений 1200 мкм (рисунок 2, а). Данный слой, как и в предыдущем случае, состоит из двух зон: поверхностной толщиной 1000 мкм с номером зерна № 7, представленной структурой мелкоигльчатого мартенсита (рисунок 2, б) с твердостью 598 HV. Ниже этой зоны располагается переходная зона толщиной 200 мкм со структурой мартенсит + феррит (твёрдость 275 HV) и номером зерна № 6 (рисунок 2, в). В дальнейшем, упрочнённый слой плавно переходит в исходную структуру феррит + перлит с номером зерна № 6 и твердостью 190 HV.



а – внешний вид упрочнённого слоя; б – внешняя упрочнённая зона;
в – переходная зона

Рисунок 2 - Микроструктура стали марки 40X после комбинированной электромеханической обработки по режиму 2

Формирование дефектной структуры видманштедт в переходной зоне не происходит по режиму 2, поскольку применение при обработке количества импульсов в 2 раза больше, чем по режиму 1, способствует прогреву поверхностного слоя на большую глубину, и, следовательно, структурообразование в переходной зоне происходит из межкритического интервала $A_{r3} - A_{r1}$ (рисунок 3, в).

Выводы:

1. На стали марки 40X способом комбинированной электромеханической обработки по разным режимам получены упрочненные поверхностные слои толщиной (700 ÷ 1200 мкм) с твердостью 598 HV.

2. Исследования показали, что рациональным режимом обработки по структурообразованию и полученной поверхностной твердостью, является режим 2.

3. Упрочнённый поверхностный слой, полученный по режиму 2, состоит из двух зон: поверхностной со структурой мелкоиглочатого мартенсита, и переходной зоны, структура которой содержит мартенсит и феррит. Упрочненный поверхностный слой плавно переходит в исходную феррито-перлитную структуру.

Библиографический список

1. Wang Z., Lu K. Diffusion and surface alloying of gradient nanostructured metals // Beilstein Journal of Nanotechnol. 2017.V. 8. P. 547-560.

2. Yaresko S.I. Application Features of the Cutting Tool, Hardened by Laser Pulsed Radiation // Materials Science Forum. 2016.Vol. 870. pp. 46-51.

3. Ivancivsky V.V., Zverev E.A., Vakhrushev N.V., Bandyurov I.V. Adhesion strength research of wear-resistant ceramic-metal plasma coatings // Actual Problems in Machine Building. 2016. N 3, p. 77 – 82.

4. Косогоров В.А., Багмутов В.П., Захаров И.Н., Денисевич Д.С., Косогорова П.В. Комбинированное поверхностное упрочнение стальных сплавов на основе электромеханической и ультразвуковой обработок // Известия ВолгГТУ. 2014. №1(128). Т.7. С. 10-14.

5. Эдигаров В.Р., Алимбаева Б.Ш., Перков П.С. Упрочнение поверхностных слоев деталей электромеханической обработкой с дополнительной деформацией поверхностного слоя // Научный альманах. 2016. № 10-3(24). С. 351 – 354.

6. Кашин С.С., Шевченко Р.А., Осколкова Т.Н. Упрочнение поверхности стали марки 40X способом электромеханической обработки // Сб. науч. трудов Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения». Новокузнецк, 2021. Ч. 2: Технические науки – С. 231 – 234.

7. Кашин С.С., Осколкова Т.Н., Шевченко Р.А. Поверхностное упрочнение стали марки 40X методом комбинированной электромеханической обработки // Сб. науч. трудов XXI Международной науч.-практич. конференции «Металлургия: технологии, инновации, качество». Новокузнецк, 2021. Ч. 2. С. 34 – 36.

ПОЛУЧЕНИЕ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ ЧУГУНОВ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

Трошкин М.В., Лазаревский П.П.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Уманский А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: Maxtroshkin93@gmail.com*

В рамках исследовательской работы проведена серия экспериментов, направленных на оценку возможности получения чугунов с высокими эксплуатационными свойствами методом прямого легирования. В качестве легирующего материала использовали никелевую руду Буруктальского месторождения. По результатам комплекса проведенных исследований определены три принципиальные возможности получения никелевых чугунов из руд Буруктальского месторождения.

Ключевые слова чугун, никелевая руда, антрацит, природно-легируемый чугун, легирующий элемент, никелевый концентрат.

На данный момент в мире наблюдается сложная ситуация в ферроникелевом производстве: запасы богатых никелевых руд заканчиваются, одновременно ужесточаются экологические требования и нормативы на разработку месторождений, а стоимость электроэнергии ежегодно возрастает. Все это, в сочетании с падением рыночной цены на никель, сделало экономически нецелесообразным производство ферроникеля из бедных (порядка 1% Ni) окисленных руд по классическим технологиям. Это привело к полной или частичной остановке производства на ведущих ферросплавных предприятиях РФ, производящих ферроникель из окисленных никелевых руд - ПАО «Комбинат Южуралникель», ОАО «УфалейНикель», ЗАО «ПО «Режни-кель», ООО «БНЗ».

Вместе с тем, в последнее время все большую популярность получают одностадийные процессы выплавки ферросплавов и чугуна, такие как ITmk3 и кислородный реактор, использующие рудоугольные брикеты, что позволяет вовлечь в производство руду мелких классов, пыль и другие отходы металлургического производства. Такие технологии экономически выгоднее классических схем производства. Поэтому изучение альтернативной технологии производства никелевого чугуна является очень актуальным и перспективным направлением исследований.

Природные руды отдельных месторождений на Урале содержат в своем составе небольшое количество хрома, ванадия, никеля и кобальта. Эти элементы в доменном процессе переходят в чугун в виде легирующих добавок. Полученный при этом чугун более высокого качества называют природно-легируемым. Особый интерес представляют природно-легируемые железные руды Буруктальского рудника с содержанием нике-

ля и кобальта на уровне 1,06 и 0,085 % соответственно. Объем учтенных запасов находится на уровне 1,3 млн.т [1, 4].

В рамках исследовательской работы проведена серия экспериментов, направленная на оценку возможности получения чугунов с высокими эксплуатационными свойствами методом прямого легирования. В качестве легирующего материала использовали никелевую руду Буруктальского рудника.

В качестве железорудного сырья использовали никельсодержащую руду Буруктальского месторождения. Химический состав представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав Буруктальской никелевой руды

Массовая доля компонентов, %									
Ni	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P	S	CaO	Fe	MgO	Cr ₂ O ₃	Co
1,06	2,8	41,3	0,012	0,21	0,5	19,16	15,2	1.4	0,085

Из результатов химического состава следует, что руда представляет собой «кислый» железорудный материал, содержащий в своем составе оксид никеля. Такая концентрация легирующих элементов представляет практический интерес и характеризует никелевую руду Буруктальского месторождения как природно-легированное сырье.

Для оценки минералогического состава руду подвергли рентгенофазовому анализу (РФА). Из результатов РФА (Рисунок 1) следует, что Буруктальская никелевая руда представлена комплексом железосодержащих минералов: гетит (α -FeOOH), присутствует гематит (Fe_3O_4) и магнетит (Fe_2O_3). Никель в руде находится в соединении с оксидом железа и представлен минералом треворит ($NiFe_2O_4$). Пустая порода представлена соединением магниевого гидросиликата ($Mg_6[OH]\{Si_4O_{10}\}$).

В качестве восстановителя использовали антрацит АШ-УНГ 0-1 производства АО «Сибирский Антрацит».

Технические характеристики антрацита АШ-УНГ 0-1 мм АО «Сибирский Антрацит» приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технический анализ антрацита

Показатель	Антрацит АШ-УНГ 0-1 мм АО «Сибирский Антрацит»
A ^d (зола)	6,9
V ^{daf} (летучие)	1,6
W ^p (влажность)	18,8
S (сера)	0,3
C (углерод) на рабочее состояние	71,6
C (углерод) на сухое состояние	88,2
Высшая теплота сгорания, Ккал/кг	6000
Водород, %:	1,08
Мышьяк, %	0,0019
Хлор, %	0,016
Фтор	0,005

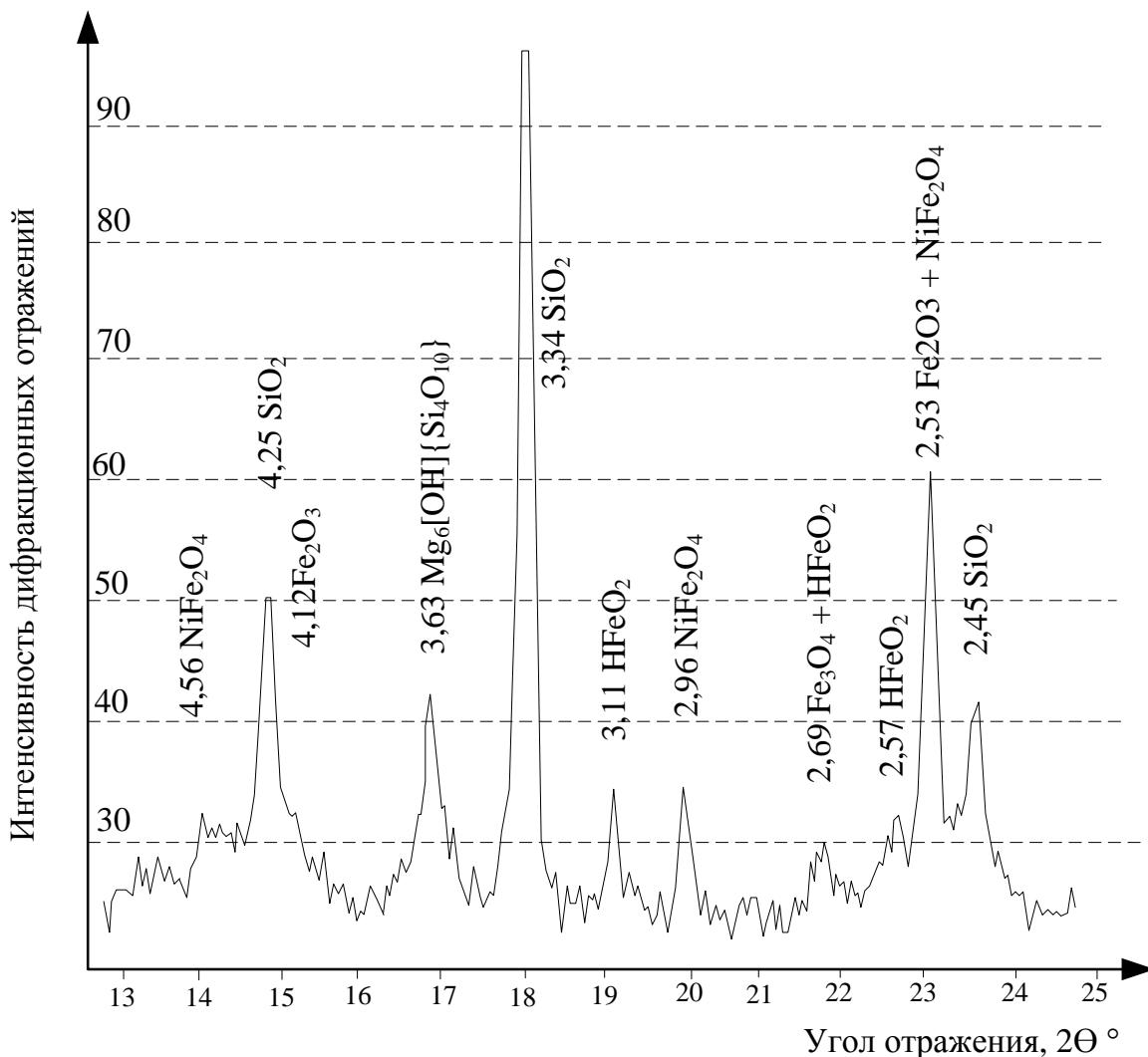


Рисунок 1 – Участок рентгенофазовой дифрактограммы Буруктальской никелевой руды

Предварительно измельченную до фракции 0 – 10 мм никелевую руду смешивали с антрацитом в различных соотношениях при условии недостатка углерода и избытка углерода от стехиометрически необходимого на полное восстановление никеля (Ni), кобальта (Co) и на 50% восстановления железа (Fe).

Навеску помещали в графитовый тигель, устанавливали в нагреватель индукционной печи и производили набор мощности. В результате воздействия электромагнитного поля графитовый тигель нагревался и нагревал материалы. В течение 10 минут происходило полное расплавление навески, после чего производили, выдержку до полного исчезновения антрацита с поверхности расплава. Далее содержимое тигля выливали в стальную форму, где происходило охлаждение продуктов плавки. Полученный металл и шлак взвешивали и определяли химический состав, результаты приведены в таблице 3 – 5.

Таблица 3 – Составы шихтовых смесей и результаты взвешивания продуктов плавки

№ п/п	Количество компонентов в смеси, г			Масса навески (сух.)	Количество металла, г	Количество шлака, г
	никелевая руда	антрацит	известь			
1	196	4		207	22	142,5
2	194	6		204,5	23	135
3	190	10		207,5	31	133,5
4	188	12		190,5	6,5	116,5
5	180	20		221	19	125
6	174	26		201	44,5	96
7	168	6	20	204,5	6	130
8	122	12	70	222	9,5	140
9	110	16	82	225,5	15,5	134,5

Таблица 4 – Химический состав металла

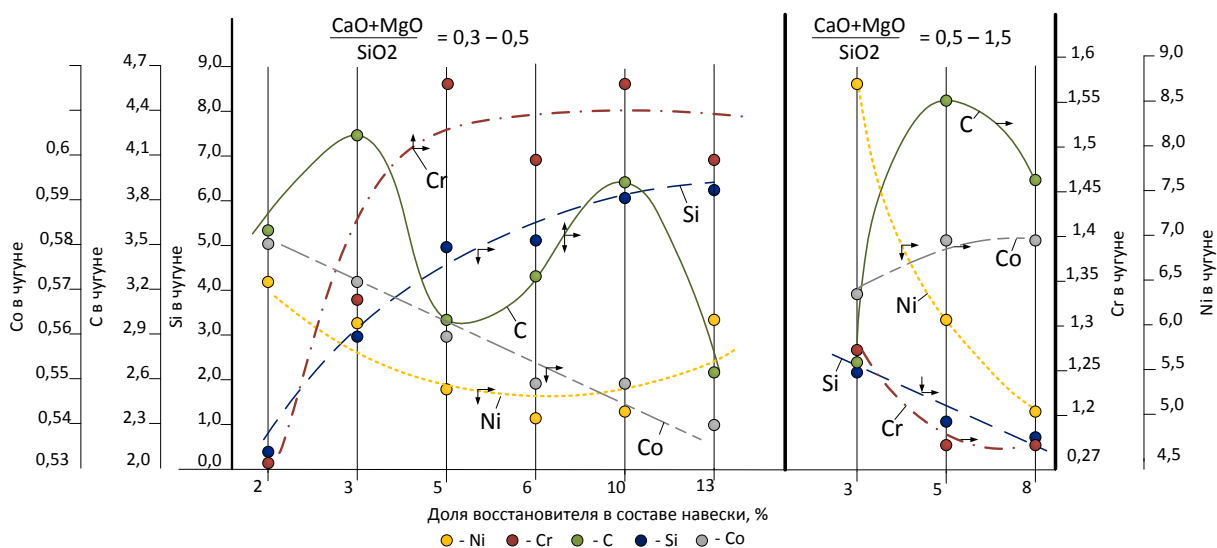
№ п/п	Массовая доля элементов, %								
	Fe	Si	C	S	P	Mn	Co	Ni	Cr
1	88,39	0,31	3,68	0,17	0,054	0,03	0,58	6,52	0,27
2	84,47	2,92	4,2	0,49	0,06	0,09	0,57	5,88	1,32
3	84,40	4,87	3	0,19	0,057	0,07	0,56	5,27	1,58
4	84,14	4,91	3,31	0,46	0,049	0,19	0,55	4,9	1,49
5	82,69	5,92	3,9	0,15	0,062	0,08	0,55	5,07	1,58
6	82,80	6,06	2,66	0,16	0,067	0,06	0,54	6,16	1,49
7	83,75	2,2	2,74	0,63	0,063	0,11	0,57	8,7	1,24
8	86,81	1,09	4,37	0,39	0,018	0,06	0,58	6,14	0,54
9	88,69	0,73	3,92	0,35	0,017	0,07	0,58	5,01	0,63

Таблица 5 – Химический состав шлака

№ п/п	Массовая доля компонентов, %										
	FeO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	S	MnO	Co	Ni	Cr	$\frac{(CaO+MgO)}{SiO_2}$
1	24,29	47,12	5,04	13,35	4,71	0,21	0,81		0,13	1,16	0,39
2	19,94	50,01	5,31	14,4	5,47	0,21	1,16	0,025	0,06	1,21	0,39
3	25,79	48,31	5,29	12,87	4,49	0,21	0,81	0,055	0,1	0,99	0,38
4	15,79	52,66	5,93	14,4	5,75	0,21	0,94		0,08	1,62	0,39
5	31,24	42,65	5,03	12,14	3,95	0,22	0,75	0,09	0,37	1,05	0,40
6	27,39	47,21	5,2	12,25	3,76	0,23	1,12	0,12	0,28	0,75	0,37
7	18,18	49,07	14,1	11,9	4,02	0,22	0,58	0,025	0,09	0,69	0,53
8	7,91	38,12	35,59	10,75	3,29	0,2	0,22	0,025	0,039	0,59	1,22
9	7,17	32,66	42,13	9,49	3,23	0,19	0,21	0,024	0,057	0,59	1,58

Опытные плавки условно можно разделить на несколько этапов. Первый этап характеризуется ведением процесса восстановления железа и легирующих элементов под «кислым» шлаком без введения в состав навески флюсующих добавок (образцы 1 – 6). На втором этапе восстановительные процессы проводили с увеличением основности шлака $\frac{(CaO+MgO)}{SiO_2}$ 0,5 – 1,5

(образцы 7 – 9) за счет введения извести в состав шихтовой навески. На рисунке 2 приведена зависимость содержания C, Si, Cr, Ni, Co от количества восстановителя в навеске и различной основности шлака.



Р

исунок 2 – Зависимость химического состава чугуна от содержания восстановителя в навеске

Из результатов химического анализа никелевой руды и продуктов восстановления (таблицы 4 и 5, Рисунок 2) следует, что во всем интервале изменения доли восстановителя в составе шихтовой навески Co и Ni в среднем восстанавливаются на 90 %. Это подтверждает значительное снижение оксидов никеля и кобальта в конечном шлаке и в некоторых случаях полное отсутствие CoO_3 . Однако в результате увеличения доли восстановителя в шихтовой навеске происходит уменьшение концентрации Co и Ni в металлическом сплаве, что связано с повышением содержания хрома (Cr) и кремния (Si).

Таким образом, плавка под «кислым» шлаком позволяет максимально восстановить Ni и Co, при этом, повышая количество восстановителя в навеске, можно в широком диапазоне увеличивать концентрацию Si и Cr в сплаве [2].

Вторым этапом проведены сравнительные эксперименты изменения доли восстановителя и дополнительное введение извести в состав навески. При этом количество извести изменяли до основности шлака $\frac{(\text{CaO}+\text{MgO})}{\text{SiO}_2} \approx 1,5$. Зависимости химического состава чугуна от количества восстановителя и основности приведены на рисунке 3.

Из результатов химического анализа чугуна следует, что введение состав навески извести позволяет снизить концентрацию Si в сплаве пропорционально увеличению CaO в шлаке. Это объясняется тем, что в условиях основного шлакового режима за счет образования силикатов кальция (CaO-SiO_2) восстановление Si протекает значительно труднее, чем из свободного кремнезема. Кроме того, с повышением основности происходит снижение активно-

сти Cr_2O_3 и как следствие уменьшение концентрации Cr в сплаве [3, 5].

Из рисунка 6 видно, что в чугунах с повышением расхода восстановителя и увеличением основности происходит повышение концентрации Co, при этом снижается доля Ni.

Таким образом, описанные выше результаты исследований по выплавке никелевого чугуна из руд Буруктаьского месторождения формируют три принципиальных технологических решения восстановительной плавки легированного чугуна:

1. Изменение количества восстановителя позволяет контролировать концентрацию легирующих элементов в частности Ni и Co.

2. Введение в состав шихтовой навески «основных» материалов позволяет снизить активность кремнезема и повысить концентрацию легирующих элементов.

3. Изменение количества восстановителя при основных шлаках, так же позволяет в широких пределах изменять концентрацию легирующих элементов.

Развитие и отработка технологии позволит организовать производство широкого сортамента чугунов легированных никелем, кобальтом и хромом.

Библиографический список

1. Сергеева С. В. Исследование технологических параметров получения никелевого чугуна: автореферат дисс. канд. техн. наук / С. В. Сергеева – Имет УрО РАН, 2017.

2. Диамидовский Д. А. Металлургия ферроникеля. / Диамидовский Д. А., Онищин Б. П., Линев В. Д. – М.: Металлургия, 1983. С. 8.

3 Грань, Н.И. Электроплавка окисленных никелевых руд / Н.И. Грань, Б.П. Онищин, Е.И. Майзель. – Москва: изд-во Металлургия, 1971. – 248 с.

4. Резник, И.Д. Никель: В 3 т. Т. 2. Окисленные никелевые руды. Характеристика руд. Пирометаллургия и гидрометаллургия окисленных никелевых руд / И.Д. Резник, Г.П. Ермаков, Я.М. Шнеерсон. – Москва: Изд-во ООО "Наука и технологии", 2001. – 468 с.

5. Худяков, И.Ф. Металлургия меди, никеля, кобальта №2 / И.Ф. Худяков, Ф.И. Тихонов, В.И. Деев, С.С. Набойченко// – Москва: Изд-во Металлургия, 1977. – 264 с.

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ И ВЫБОРУ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ РОТОРНЫХ ПЕЧЕЙ

Трошкин М.В. Лазаревский П.П.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Уманский А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: Maxtroshkin93@gmail.com*

Представлены рекомендации по выбору горелочных устройств для роторных печей, а также рекомендации по организации различных тепловых режимов.

Ключевые слова: роторная печь, газовая горелка, восстановительная плавка.

Роторная печь относится к печам периодического действия, работающим циклами. Последовательность технологических операций одного цикла включает загрузку шихтовых материалов, восстановительную плавку, выпуск расплава. Для отопления печи используются различные виды горелок, работающих на газообразном, жидком топливе.

Тепловые мощности горелочных устройств печей объемом 5,5 м³ с учетом коэффициента неравномерности расхода топлива k (для печей периодического действия рекомендуется выбирать на уровне 1,2 – 2,0 [1]), обеспечивающего реализацию форсированного режима работы печи, равны:

$$M_{г} = 1,2 \cdot 2,47 \approx 3 \text{ МВт} \quad (O_2=25\%, \text{ток}=20 \text{ }^\circ\text{C})$$

Для отопления печи может быть использована горелка ГБГ-3,5 (ГБГ-3,5П) (производитель ОАО «Брестсельмаш») номинальной тепловой мощности 3,5 МВт (диапазон регулирования тепловой мощности 0,9 – 3,6 МВт) длина факела при номинальной тепловой мощности не более 4 м.

В качестве альтернативного варианта возможно использование горелок фирмы Kromschroeder (Кромшредер) Elster Hauck TriOx или BBG (один из поставщиков ООО «НПК «УралТермоКомплекс» 620026, РОССИЯ, г. Екатеринбург, ул. Народной Воли, 65 оф. 304, тел./факс:253-57 62/61

Газовые горелки Hauck BBG [2]

Газовые горелки с неполным предварительным смешением для работы на низких давлениях воздуха и газа. Горелки Hauck BBG разработаны для длительной эксплуатации на печных агрегатах и сушильных установках в непрерывном или импульсном режиме работы и для процессов, имеющих небольшое разрежение в топке печи. Особенно широкое применение они находят в литейных и сталеплавильных печах, в производстве алюминия, цветных и драгоценных металлов. Диапазон мощностей горелок от 580 кВт до 23 МВт. BBG предназначены для работы на любом очищенном горючем промышленном газе (природном, коксовом и др. газах и их смесях с теплотворной способностью от 2350 Ккал/нм³ до 9400 Ккал/нм³) в соответствии с

выбранной моделью. Особенности газовых горелок Hauck BBG: розжиг с помощью встроенной горелки или прямой розжиг искрой (до BBG 12); возможность подогрева воздуха до 650 °С; варианты комплектации с различными смесителями; простота обслуживания благодаря модульной конструкции; высокая экологичность как следствие оптимизации процесса горения. Преимущества газовых горелок Hauck BBG: многообразие применений благодаря широкому диапазону мощностей до 23 МВт; простая надежная конструкция газовых горелок; широкий диапазон соотношений «газ-воздух»; сходящийся горелочный камень, обеспечивающий высокую скорость пламени и высокий уровень теплопередачи; расходящийся горелочный камень, дающий возможность воспламенения от горячей камеры сгорания.

Газовые горелки Elster Hauck TriOx BBG [3]

Горелки TriOx Hauck применяются в промышленных печах непрерывного действия и системах нагрева при производстве чугуна, стали, драгоценных и цветных металлов. Газовые горелки TriOx Hauck ориентированы на нагревательные печи в сталелитейной и алюминиевой промышленности, а также для других высокотемпературных процессах, где требуется пониженное содержание NOx и CO. Трехступенчатая инжекция воздуха приводит к увеличению КПД печи и в то же время позволяет снизить содержание NOx и CO в уходящих газах. Преимущества газовых горелок Elster Hauck TriOx (Эльстер Хаук ТриОх):

- низкие выбросы NOx до 20 промилле и ниже, даже при высоких температурах подогретого воздуха;

- режим контроля пламени во всем диапазоне работы горелки, обеспечивающий надежную безопасность системы; предназначены для работы на низком избытке воздуха (5 %) в целях достижения максимального КПД; работа на холодном или подогретом до 800 °С воздухе;

- розжиг осуществляется с помощью встроенной пилотной горелки или прямой розжиг искрой; диапазон соотношений газ/воздух 10:1;

- низкие выбросы CO, в том числе и при «холодном» запуске;

- диапазон регулирования: приблизительно 1:10;

- максимальная температура в печи: режим видимого пламени (60/40 режим): до 850 °С или Invisiflame/невидимое пламя (90/10 режим): 850 – 1500 °С.

При компоновке рабочего пространства и установке горелки в донной части, напротив горловины печи необходимо учитывать, что при направлении факела горелки в рабочее пространство печи (посередине между футеровкой и нагреваемой шихтой) рисунок 1а реализуется равномерно-распределенный тепловой режим, при котором основным излучателем тепла являются раскаленные продукты сгорания.

При отклонении факела к поверхности футеровки (вверх) рисунок 1б, реализуется косвенный направленный режим, при котором разогретая кладка выступает в роли основной теплоотдающей поверхности, в том числе и при контактном теплообмене твердой шихты или расплава при вращении печи.

При отклонении факела к поверхности шихты (расплава) (вниз) рисунок 1в реализуется в большей степени прямой направленный режим теплообмена, наиболее распространенный в плавильных печах. Такой режим обеспечивает непосредственное воздействие факела на шихту или расплав, приводя к ее форсированному нагреву и расплавлению.

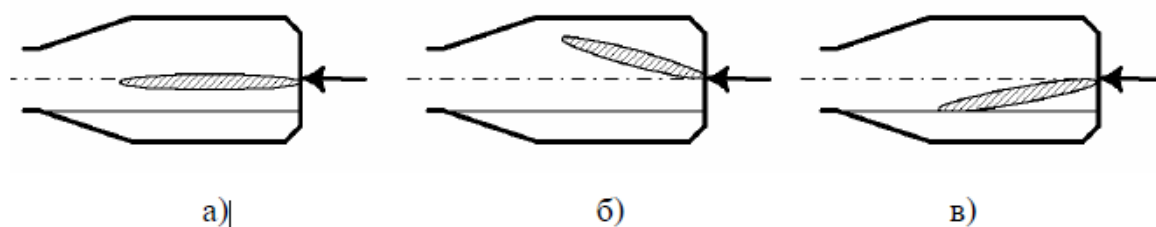


Рисунок 1 – Варианты организации различных тепловых режимов

Альтернативой компоновки, представленной на рисунке 1 (установка горелки в донной части печи, отбор продуктов сгорания через горловину), имеющей ограничения по объему расплава, может быть компоновка представленная на рисунке 2. Она основана на установке горелки и отборе продуктов сгорания в горловине печи. Преимущества такой компоновки в увеличении объема и соответственно массы расплава в печи, посредством ее наклона (увеличения угла g). Оценочные расчеты показывают, что максимальный объем расплава при такой компоновке может достигать порядка 5 м³. В таком рабочем объеме может поместиться расплава чугуна 4,7 т, шлака 10,6 т, всего расплава (без восстановителя) – 15,3 т.

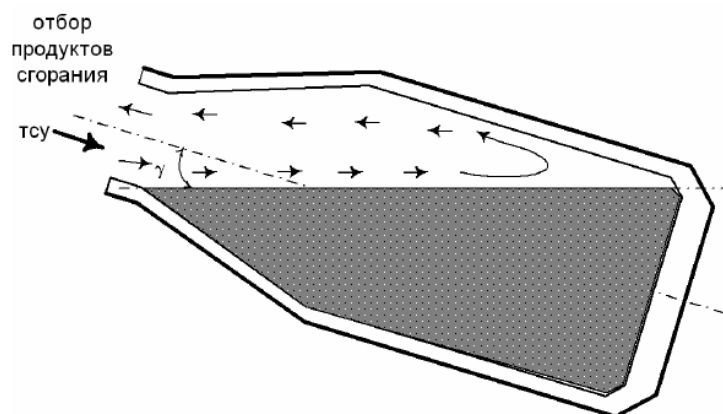
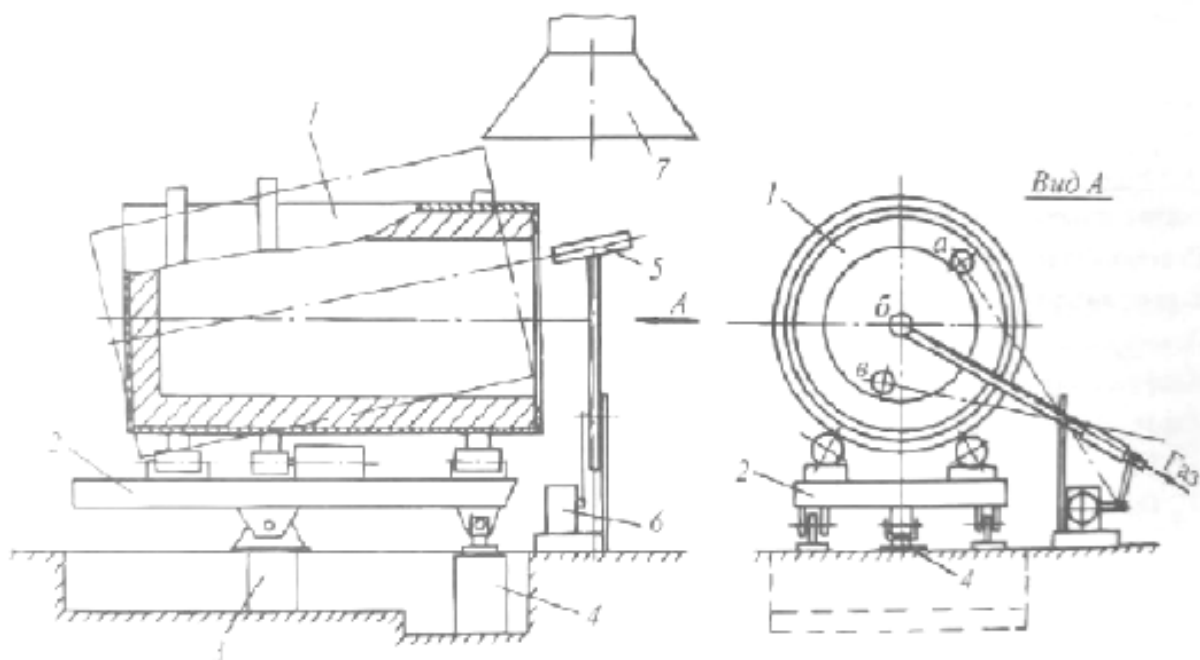


Рисунок 2 – Схема рабочего пространства при размещении горелки и отбора продуктов сгорания в горловине печи

Оригинальная конструкция вращающейся печи для переплава лома алюминия представлена в справочнике [4]. Открытый торец печи (горловина) является окном для установки горелки, загрузки шихты, слива расплава и удаления дымовых газов. Горелочное устройство устанавливается на специальной опоре и имеет привод, который обеспечивает перемещение горелки в рабочее положение, на ось печи (рисунок 3).



1 – вращающаяся печь, 2 – платформа, 3 – опора платформы, 4 – механизм подъема платформы, 5 – горелка, 6 – привод горелки, 7 – вытяжной зонд (а – положение горелки при завалке, б – при плавлении, в – при сливе металла)

Рисунок 3 – Система отопления вращающейся печи для плавки вторичного алюминия

Библиографический список

1. Теплотехнические расчеты металлургических печей / Б.Ф. Зобнин, М.Д. Казяев, Б.Н. Китаев и др. – М.: Металлургия, 1982. – 360 с.
2. Электронный ресурс.: Режим доступа.- <https://hermescompany.satom.ru/p/1762233-gazovye-gorelki-hauck-bbg/>.
3. Электронный ресурс.: Режим доступа.- <https://hermescompany.satom.ru/p/1762225-gazovye-gorelki-elster-hauck-triox/>.
4. Винтовкин А.А., Ладыгичев М.Г., Гусовский В.Л., Усачев А.Б. Современные горелочные устройства (конструкции и технические характеристики): Справочное издание. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 496 с.

АНАЛИЗ ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ ЧУГУНОВ ВЧ50 И ЧХЗ

Арапов С.Л., Мурзин А.К., Давыдыч Р.Е.

Научные руководители: д-р техн. наук, профессор Протопопов Е.В.,

канд. техн. наук, доцент Дмитриенко В.И.,

канд. техн. наук, доцент Князев С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: krookia@mail.ru*

Литые изделия из чугуна, применяемые в химико-металлургическом производстве, подвергаются газовой коррозии под воздействием агрессивных компонентов среды, разрушаются и выходят из строя. Одним из основных направлений повышения коррозионной стойкости чугуна является получение чугунных отливок с низким газонасыщением, на основе совершенствования технологии плавки и литья.

Ключевые слова: литье, чугун, дефекты, газы, проба.

Газовые примеси, содержание[N], [H], [O], оказывают заметное влияние на свойства чугуна. В зависимости от состояния азот может различным образом влиять на величину эвтектического зерна в сером чугуне, размельчая или укрупняя его. На графит же серого чугуна азот действует так, что устраняет или сглаживает выделения междендритной ориентации и делает их более разобщенными. Задерживая графитизацию и в эвтектоидном интервале, азот способствует также уменьшению количества феррита в структуре и стабилизации перлита.

Не меньшее влияние на структуру чугуна оказывает водород. Поэтому в зависимости от концентрации водорода и других примесей можно получить разные результаты как в отношении степени графитизации, так и в отношении формы и распределения графита. То же, по существу, можно сказать и о кислороде, влияние которого в сильной степени зависит от характера состояния его в чугуне. Подавляющая часть его образует соединения с Si, Mn, Al и другими элементами, которые в той или иной мере служат зародышами при кристаллизации графита, незначительная же часть находится в растворе и в некоторой степени (слабее, чем азот и водород) тормозит процесс графитизации или даже ведет себя нейтрально, если не производится продувка чугуна. Поэтому введение кислорода, как и других газов, оказывает различное влияние на графитизацию в зависимости от способа его введения и состава металла, но, в общем, оказывает слабое влияние. Особым и весьма важным вопросом является влияние газов на образование шаровидного графита в чугуне. Данный вопрос недостаточно изучен и требует и требует больших и специальных исследований.

Наиболее сильное влияние газообразующие примеси оказывают на формирование некоторых дефектов отливок. Растворение в жидком металле

больших количеств азота и водорода является предпосылкой образования газовых дефектов в отливке. При охлаждении растворимость газов уменьшается, и они выделяются в металле. Механизм этого процесса не полностью противоположен механизму растворения газов, так как обратная диффузия атомов водорода и азота из внутренних частей отливки к периферии затруднена. Скорость охлаждения расплавленного металла до его затвердевания значительно больше скорости нагрева металла до расплавления. При таких условиях обратная диффузия газов протекает медленнее, чем скорость образования твердой корки в отливке, и газ остается в металле. С другой стороны, в результате быстрого охлаждения наружных частей отливки растворимость газов в них быстро падает. Поэтому диффузия газов происходит от внешних слоев отливки к внутренним и в конце кристаллизации сплава газы выделяются в молекулярной форме в виде самостоятельных газовых включений или заполняют усадочные раковины, образовавшиеся из-за недостаточного питания отливки. В твердом сплаве газ в молекулярном виде не растворяется из-за больших размеров молекул, не уместяющихся в порах кристаллической решетки.

Газы, выделившиеся в жидком металле до его затвердевания (малая вязкость), не образуют раковин в отливке. Газы, выделившиеся в период кристаллизации металла, вязкость которого сильно возросла, как правило, остаются в отливке. Почти полностью выделяются газы из эвтектических сплавов, отверждаемых при постоянной температуре без образования первичной фазы. Газовые раковины часто возникают в отливках из сплавов с большим интервалом кристаллизации и низкой степенью эвтектичности (ковкий и модифицированный чугуны) [1].

Размер, форма и число газовых раковин, образующихся в жидком металле, в большой степени зависят от их коэффициента диффузии. Величина этого коэффициента для некоторых примесей литейного чугуна приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициент диффузии для примесей чугуна

Элементы	H ₂	C	N ₂	Si	S	O ₂
Коэффициент диффузии D, 10 ⁻⁵ см ² /24 ч	14900	7900	3400	100	8,5	6,5

Высокий коэффициент диффузии водородных атомов определяется их очень малыми размерами. Водород образует много мелких сферических раковин. Раковины от выделившегося азота имеют вид трещин завихренной формы длиной 5–6 мм и шириной 1–2 мм. Часто эти раковины называют дефектом – запятой.

Специфичная форма связана с малым коэффициентом диффузии атомов азота, в результате чего фронт кристаллизующегося сплава «настигает» диффундирующие газы и сдавливает их.

Находящийся в расплаве кислород (в виде FeO) выделяется при восстановлении оксида углеродом металла.

Экзотермический характер реакции определяет ее направление вправо при понижении температуры расплавленного металла.

Оксид углерода практически не растворяется в металле и образует в нем полости, в которые диффундирует часть растворенных газов – водорода и азота. Содержание газов в металле зависит от технологии плавления и плавильных печей.

Методика пробоотбора. Наибольшую сложность вызывает отбор проб на водород. Большая диффузионная подвижность водорода как в жидком так и твердом металле заставляет прибегать к особым предосторожностям при отборе проб. Наиболее распространенный метод отбора проб жидкого металла – метод закалки – заключается в заливки жидкого металла в стальную или медную изложницу. Затем закалочную изложницу погружают в ёмкость с холодной водой. Получаемая проба имеет в нижней части отросток диаметром 8 – 10 мм и длиной 5-8 см. Это, так называемая, карандашная проба (рисунок 1).



Рисунок 1 – Пробоотборник на водород

Анализ металла на содержание водорода проводится в два этапа:

- 1 – определение диффузионно-подвижного водорода;
- 2 – определение остаточного водорода.

На первом этапе сразу после закалки проба помещается в стеклянную ёмкость с капилляром (эвдиометр), позволяющий улавливать и измерять с требуемой точностью количество выделившегося водорода. Эвдиометр заливается спиртом, который не растворяет и не выделяет газы и не взаимодействует с металлом. Выдержка образца в эвдиометре составляет 5-7 суток. После чего выделение диффузионно-подвижного водорода практически прекращается. Проба вынимается из эвдиометра, взвешивается, замеряется объем выделившегося водорода и рассчитывается его концентрация.

На втором этапе в спокойной обстановке проба без нагрева обрабатывается с поверхности для удаления оксидных пленок и включений обычно на наждачном станке. После этого она готова для определения остаточного водорода. Остаточный водород определяется на специальной установке по методу высокотемпературного нагрева в токе инертного газа. Температура процесса 650 – 700 °С.

Образцы для анализа на азот и кислород весом 0,5-:-1 г вырезаются из водородных проб. Определение азота и водорода проводится методом вакуум-плавления на установке фирмы "Балцерс" (США).

Для оценки уровня содержания газов в условиях литейного участка были отобраны пробы металла (чугун ВЧ 50) для определения содержания газовых примесей водорода, азота и кислорода.

Всего отобрано 8 образцов по ходу плавки и заливки металла в форму.

Статистические характеристики содержания водорода и азота (до модифицирования сплава ВЧ 50):

Содержание [H], (ppm) = $3,852 \pm 1,0557$ ($2,7959 \div 4,9086$)

Содержание [N], (ppm) = $46,6 \pm 32,65$ ($13,9463 \div 79,2538$)

Статистические характеристики содержания водорода и азота (после модифицирования сплава):

Содержание [H], (ppm) = $4,5 \pm 0,9$ ($3,6 \div 5,4$)

Содержание [N], (ppm) = $105,338 \pm 9,238$ ($96,1 \div 114,575$)

Расчетное содержание [O], (ppm) в чугуне до модифицирования равно 20, после модифицирования – 14 [7-10].

Общее содержание газов [H], [N], [O] до модифицирования составляет 70,45ppm, после модифицирования – 123,83 ppm.

Анализ данных полученных при определении содержания водорода и азота в пробах металла, отобранного по ходу плавки и после модифицирования высокопрочного чугуна ВЧ 50 показал, что наблюдается заметный рост общей газонасыщенности металла по водороду и азоту по ходу процесса выплавки и заливки.

Известно [2-4], что содержание водорода в жидких и твердых чугунах колеблется в пределах 0,6-:-27 ppm, предел растворимости водорода в железе при температурах кристаллизации в жидком состоянии равен 19,8ppm, а в твердом состоянии до 9 ppm. При содержании водорода более 9-:-10,8ppm возможно возникновение в отливках газовой пористости и пузырей. Наличие в чугуне магния приводит к снижению содержанию водорода, но стимулирует возникновение газовой пористости в отливках.

Уровень водорода 3,6-:-5,4 ppm в чугуне ВЧ 50 после модифицирования, заливаемого в формы, является приемлемым, но довольно рискованным, с точки зрения образования газовых дефектов в отливках из чугуна модифицированного магнием, и требует корректирующих поправок (снижение продолжительности периодов плавки и разлива пр.) в технологию выплавки чугуна с целью его снижения.

Для оценки уровня содержания газов в ЧХЗ были отобраны пробы металла для определения содержания газовых примесей водорода и азота. Всего отобрано 3 образца по ходу плавки и заливки металла в форму.

Содержание [O], (ppm) $[O]_{cp} = 65,07$. Среднее общее содержание газов [H], [N], [O] в материале отливок из ЧХЗ составляет – 117,69 ppm.

Анализ данных полученных при определении содержания водорода и азота в пробах металла, отобранного по ходу плавки и заливки чугуна ЧХЗ в

формы показал, что наблюдается незначительный рост общей газонасыщенности металла по водороду и азоту по ходу процесса выплавки и заливки чугуна.

Уровень водорода 3,4-:-4,5ppm в чугуне ЧХЗ, заливаемого в формы, не является приемлемым, с точки зрения образования газовых дефектов в отливках и не требует корректирующих поправок в технологию выплавки и разливки чугуна ЧХЗ.

Уровень азота в 30-:-64ppm невысок и не должен сказываться на качестве отливок. Содержание кислорода соответствует уровню раскисления металла кремнием и не критично.

Процесс модифицирования расплава для получения ВЧ50 оказывает влияние на газонасыщенность чугуна ([H], [N], [O]): до модифицирования газонасыщенность чугуна составляет 70,45 ppm, после модифицирования – 123,83 ppm. Уровень водорода 3,6-:-5,4 ppm в чугуне ВЧ 50 после модифицирования, заливаемого в формы, является приемлемым, но довольно рискованным, с точки зрения образования газовых дефектов в отливках из чугуна модифицированного магнием, и требует корректирующих поправок (снижение продолжительности периодов плавки и разливки пр.) в технологию выплавки чугуна с целью его снижения.

Содержание газов [H], [N], [O] в материале отливок из ЧХЗ составляет – 117,69 ppm. Уровень водорода 3,4-:-4,5 ppm в чугуне ЧХЗ, заливаемого в формы, не является приемлемым, с точки зрения образования газовых дефектов в отливках и не требует корректирующих поправок в технологию выплавки и разливки чугуна ЧХЗ.

Библиографический список

1. Анализ технологических факторов определяющих качество (стойкость) секции прямой газосборного колокола электролизера/ Соколов Б.М., Ознобихина Н.В., Михно А.Р., Белов Д.Е., Зеневич А.В., Князев С.В., Усольцев А.А.// Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ.ред. М.В.Темлянцева. - Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2020. - Вып. 24. - Ч. I. Естественные и технические науки. - 480 с., ил.-164, таб.- 88.

2. Оценка газонасыщенности чугунов ВЧ50 и ЧХЗ / В. И. Дмитриенко, С. В. Князев, Н. А. Козырев [и др.] // Металлургия: технологии, инновации, качество : Труды XXII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Новокузнецк, 10–11 ноября 2021 года / Под общей редакцией А.Б. Юрьева. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2021. – С. 177-183.

3. Коррозионная стойкость чугунов, применяемых для изготовления газосборного колокола / А. А. Усольцев, С. В. Князев, А. И. Куценко [и др.] // Металлургия: технологии, инновации, качество : Труды XXII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Новокузнецк, 10–11 ноября 2021 года / Под общей редакцией А.Б. Юрьева. – Новокузнецк: Сибирский

государственный индустриальный университет, 2021. – С. 167-177.

4. О возможности замены серых чугунов для изготовления литых элементов газосборного колокола электролизера / А. А. Усольцев, Н. А. Козырев, С. В. Князев [и др.] // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2021. – Т. 77. – № 9. – С. 1063-1070. – DOI 10.32339/0135-5910-2021-9-1063-1070.

УДК 621.74:681.3

ЦИФРОВИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЕМ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ

Кокорин В.С., Буркова А.А., Морозов М.А.

Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Князев С.В.,

Ознобихина Н.В., Соколов Б.М.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: krookia@mail.ru*

Перспективным путем решения задачи минимизации дефектности отливок является постоянное адаптирование технологического процесса к внешним возмущениям. Группа технологических алгоритмов оптимизационного управления смесеприготовлением предназначена для учета и обобщения данных о дефектности и браке отливок, для диагностики и прогнозирования их дефектности, а также для выработки рекомендаций технологического и организационного характера на процесс смесеприготовления, минимизирующих уровень дефектности отливок. Алгоритм адаптивной оптимизации реализуется программно через протомпьютер и обеспечивает вычисление обобщенного параметра оптимизации по значениям основных физико-механических свойств и технологических свойств, последовательный анализ и поиск оптимума симплекс-методом Нелдера - Мида с ограничениями на диапазон изменения ряда параметров.

Ключевые слова: дефектность отливок, смесеприготовление, алгоритм, состав-свойства формовочной смеси, управление, диагностика, автоматизация.

Растущие требования к качеству литых изделий отражаются на состоянии технологических процессов получения отливок, в том числе существенном повышении качества литейной формы, как одного из ответственных аспектов, влияющих на образование литейно-технологических дефектов в отливках. При этом решаются, в частности, задачи увеличения уровня уплотнения, прочности, газопроницаемости и податливости литейной формы, снижения ее газотворности и т. п., которые определяются в большинстве случаев правильным подходом к составу и свойствам формовочной смеси.

Современная система смесеприготовления для автоматизированных формовочных линий должна обеспечить снижение влажности смеси до 3 %

при одновременном повышении прочности ее на сжатие в сыром состоянии, заданную гранулометрию и температуру смеси, а также возможность получения требуемой комбинации физико-механических и технологических свойств смеси в рабочем диапазоне [1,2].

Для целей автоматизации и оптимизации управления технологическими процессами при решении перечисленных выше задач разработаны алгоритмы функционирования АСУ ТП смесеприготовления в условиях функционирования АФЛ.

Контуром АСУ ТП охвачен блок из смесителя периодического действия, оснащенного дозаторами компонент смеси, предназначенный для приготовления единой песчано-бentonитовой формовочной смеси. С целью повышения надежности функционирования смесеприготовительного отделения в системе предусмотрено три способа управления: ручное управление исполнительными механизмами, осуществляемое оператором с пульта управления; управление по жесткой программе с использованием принципа регулирования качества смеси на основе информации, поступающей от системы автоматического регулирования уплотняемости смеси (Sand Control); адаптивное управление, включающее в себя оптимизационный поиск заданий дозаторам и датчику уплотняемости смеси. Алгоритм адаптивной оптимизации реализуется программно через промкомпьютер и обеспечивает вычисление обобщенного параметра оптимизации по значениям основных физико-механических свойств и технологических свойств, последовательный анализ и поиск оптимума симплекс-методом Нелдера-Мида с ограничениями на диапазон изменения ряда параметров [3,4].

Оптимизируемым параметром выступает обобщенная функция качества смеси, определяемая как безразмерная величина Y , полученная в результате нормирования (относительно оптимального) текущего значения параметра качества смеси: $Y_u = \sum_{i=1}^m a_i \left(\frac{y_{iu} - y_{i0}}{y_{i0}} \right)^2$, причем $\sum_{i=1}^m a_i = 1$, $a_i > 0$, где y_{iu} - значение индивидуального параметра i качества в u -ом цикле; y_{i0} - оптимальное значение параметра i качества - значение, к которому следует стремиться; a_i - показатель значимости частных параметров i качества, m - количество параметров качества смеси (физико-механические и технологические параметры смеси).

Величина значимости a_i определяется из опыта и задач эксплуатации системы смесеприготовления с использованием методики экспертных оценок или математико-статистических вычислений. Оптимальные параметры качества смеси, т. е. значения физико-механических и технологических свойств единой формовочной смеси, определяющих высокое качество литейной формы и, как следствие, минимизирующих дефектность отливок, задаются автоматизированной системой диагностики и прогнозирования дефектности отливок или технологом. АСУ качеством отливок, позволяющая оперативно изменять технологию по критерию минимума дефектности, состоит из нескольких подсистем. Основная подсистема предназначена для

учета и обобщения данных о дефектности и браке отливок, для диагностики и прогнозирования их дефектности, а также для выработки рекомендаций технологического и организационного характера, минимизирующих уровень дефектности отливок. Для диагностики и прогнозирования дефектности отливок экспериментально-статистическими методами теории распознавания образов разработана методика сбора статистической информации, обеспечивающая тщательное слежение за процессом изготовления отливок от выплавки металла, изготовления форм и до контроля их дефектности [5,6].

Алгоритм вычисления значений обобщенного критерия качества смеси включает в себя математическую модель «состав – свойства» смеси, связывающую содержание компонент формовочной смеси (отработанная смесь, кварцевый песок, крахмалит, бентонит, вода) со значениями физико-механических и технологических свойств (прочность на сжатие в сыром состоянии, уплотняемость, формуемость, газопроницаемость, содержание связующего, текучесть, влажность и осыпаемость). Текущие значения параметров качества смеси определяются в результате экспресс-анализа в цеховой лаборатории и автоматическими датчиками [7].

Выбор режима работы системы управления осуществляется оператором-технологом дистанционно или непосредственно с пульта, расположенного возле смесителя. В центре оперативного управления находится ЭВМ, связанная с пультом оператора-технолога, мнемосхемы смесеприготовительного отделения, основных технологических схем и оборудования. Через ЭВМ и пульт управления выдаются задания на выполнение режимов работы смесителя и дозаторов компонент формовочной смеси.

Основными критериями воздействия адаптивной системы автоматического управления на процесс смесеприготовления являются изменения доз компонент формовочной смеси, вносимых в освежение и изменение задания датчику уплотняемости смеси.

Полный цикл приготовления формовочной смеси можно условно разделить на следующие операции: включение, дозирование компонент смеси и загрузка смесителя, автоматическое определение и контроль параметров смеси, подготовка к выпуску, выпуск смеси и возврат в начало цикла.

Загрузка смесителя осуществляется по величине потребляемого тока смесителем после его включения. Если ток не превосходит контрольного значения холостого хода, то осуществляется загрузка смесителя оборотной смесью и освежающей дозой песка, бентонита и крахмалита. В противном случае оператор обязан выпустить формовочную смесь из не полностью разгруженного смесителя.

После проверки выгрузки сухих компонент из дозаторов и завершения цикла сухого перемешивания (примерно 3 мин) включается в работу автоматический датчик уплотняемости смеси и проводится дозирование расчетной дозы воды. По завершении дозирования воды снимается блокировка с вентилей подачи воды Sand Control, в состав которой входит датчик уплотняемости. В результате работы Sand Control происходит доувлажнение смеси до

заданного уровня и определяется окончание цикла перемешивания по достижении смеси технологической готовности (конечного состояния) – установленного значения уплотняемости. Перед выпуском замеса производится термокомпенсация готовой смеси, которая необходима для восполнения влаги, которую она теряет при транспортировании. Количество испарившейся влаги будет зависеть от температуры смеси. Следовательно, устройство термокомпенсации вводит дополнительное количество воды, пропорциональное температуре смеси.

После завершения подготовки смеси к выпуску она выдается на сборный транспортер. Затем в случае отсутствия команды на выключение смесителей по завершении выпуска смеси формируется сигнал возврата на количество цикла.

Получение качественной формовочной смеси с заданными физико-механическими свойствами практически невозможно без стабилизации ее гранулометрических характеристик. С этой целью система управления процессом смесеприготовления предусматривает расчет и задание зернового состава смеси. Решение поставленной задачи осуществляется в комплексе путем расчета состава песков, вводимых в освежение, и баланса компонент формовочной смеси в процессе ее рециркуляции.

Задачу шихтовки смеси заданного гранулометрического состава можно представить как задачу линейного программирования. Для того чтобы при смешивании песков получить смесь определенной марки, необходимо обеспечить выполнение неравенств: $d_{\min} \leq d \leq d_{\max}; M_{\min} \leq M \leq M_{\max}$, где d - медианный средний размер зерна; M - модуль мелкости [8,9].

В случае критерия оптимизации по стоимости или расходу дефицитных песков система соотношений для решения задачи линейного программирования шихтовки песков имеет вид (1):

$$\begin{aligned} c &= \sum_{j=1}^k c_j x_j; & d &= \sum_{j=1}^k d_j x_j; \\ M &= \sum_{j=1}^k M_j x_j; & 1 &= \sum_{j=1}^k x_j, \end{aligned} \quad (1)$$

где c_j - стоимость или индекс дефицитности компонента j (более дефицитный компонент имеет значение меньше, чем менее дефицитный); c - то же, для их смеси; x_j - доля компонента j в смеси ($x_j > 0$, $j = 1, 2, \dots, k$); k - индекс отработанной смеси.

Зная данные рассева песков и оборотной смеси, можно всегда определить их модуль мелкости и медианный средний размер, что будет являться требуемой информацией для решения задачи шихтовки методом линейного программирования. Дополнительно при решении задачи задается ограничение для отработанной смеси типа: $x_{\min k} \leq x_k \leq x_{\max k}$.

Формовочные материалы в процессе рециркуляции смеси претерпева-

ют значительные изменения при взаимодействии с горячим металлом, а смесь изменяет свой компонентный состав вследствие потерь при транспортировке, аэрации, выбивке и т. п., а также попадания в нее стержней и ввода освежающей добавки. Для решения задачи расчета объема смеси, направляемого на регенерацию и в отвал, система реализует алгоритм расчета баланса компонент смеси в процессе ее рециркуляции.

Предложенный алгоритм оптимизационного управления приготовлением единой формовочной смеси позволяет вырабатывать рекомендации технологического и организационного характера и задавать рецептуры единой формовочной смеси, минимизирующих уровень дефектности отливок. По сути он является универсальным и его адаптированная версия была апробирована для использования при приготовлении стержневых смесей. Цифровизация системы приготовления единой песчано-бентонитовой смеси позволит в значительной мере добиться повышения ее качества и снизить уровень дефектности отливок по вине смесеприготовления более чем вдвое, повысить эффективность производства за счет снижения брака и трудоемкости при последующей обработке отливок, а также расхода формовочных материалов [10].

Библиографический список

1. Литейные формовочные материалы. Формовочные и стержневые смеси и покрытия: справ. / А.Н. Болдин и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 507 с.
2. Технология литейного производства. Формовочные материалы: учебное пособие/ В.К. Дубровин, И.Н. Ермаков, А.В. Карпинский. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. - 139 с.
3. Sacco W. F., Filho H. A., Henderson N., de Oliveira C. R. E. A Metropolis algorithm combined with Nelder-Mead Simplex applied to nuclear reactor core design // *Annals of Nuclear Energy*, 2008. Vol. 35, no. 5. Pp. 861-867.
4. McKinnon K. I. M. Convergence of the Nelder-Mead simplex method to a nonstationary point // *SIAM Journal of Control and Optimization*, 1999. Vol. 9, no. 2. Pp. 148-158.
5. Ключевые показатели качества стали литых изделий для железнодорожного транспорта/С.В.Князев, Д.В.Скопич, Е.А.Фатьянова, А.А.Усольцев, А.И. Куценко//Известия вузов. Черная металлургия.– 2017. – Т. 60, № 2. - С. 128-132.
6. Knyazev S.V., Usoltsev A.A., Skopich D.V., Fatyanova E.A., Dolgoplov A.E. Automated system of control and diagnostics of cast-steel defects in the mass production//*IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 150. P. 1 -5 (012039).
7. Cheprasov A.I., Knyazev S.V., Usoltsev A.A., Dolgoplov A.E., Mamedov R.O. Detection of cold cracks in the cast-steels by the methods of ultrasonic and eddy-current infrared thermography//*IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 150. P. 1 -5 (012026).

8. Antipenko, V.I., Knyazev, S.V. Diagnostics of steel castings production with the aid of technological pilot samples. Soviet Castings Technology (English Translation of Liteinoe Proizvodstvo), 1987. no. 7, p. 34.

9. Разработка технологических алгоритмов АСУ ТП смесеприготовления для автоматизированных формовочных линий/С.В.Князев, Г.Л.Хазан, В.И. Антипенко, В.А.Марчуков//Известия вузов. Черная металлургия.–1992.–№ 2.- С. 64-66.

10. Алгоритм диагностики дефектности отливок и структура АСУ их качеством/ Князев С.В., Антипенко В.И., Марчуков В.А., Усольцев А.А. //Литейное производство. -1992. -№ 4. -с.26-27.

УДК 621.745.4

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОРИСТЫХ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

Лепихов В.С.

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Князев С.В.,
Соколов Б.М., Ознобихина Н.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: krookia@mail.ru*

Рассматривается технология получения пористых и композиционных литых заготовок из алюминиевых сплавов. Разработанная технология, основанная на вакуумной пропитке (всасывании) матричного сплава через пористый наполнитель, позволяет получить новые конструкционные металломатричные композиционные материалы заданного состава и уникальным набором свойств.

Ключевые слова: литье, алюминиевые сплавы, пористый металл, легирование, модифицирование, композиты.

Область применения пористых металлов постоянно расширяется. В СибГИУ разработана усовершенствованная технология получения пористых литых заготовок из алюминия и его сплавов с целью их последующего использования для пропитки более легкоплавким материалом, по сравнению с матричной пористой заготовкой, и получения литых композиционных материалов с уникальным набором свойств.

Технология включает в себя этапы получения пористой заготовки из матричного алюминиевого сплава с заданными параметрами пористости (рисунок 1) и дальнейшую пропитку пор пористой алюминиевой заготовки расплавом (рисунок 2) различных легкоплавких материалов, например свинца, олова, цинка, магния, пластиков и т.п.

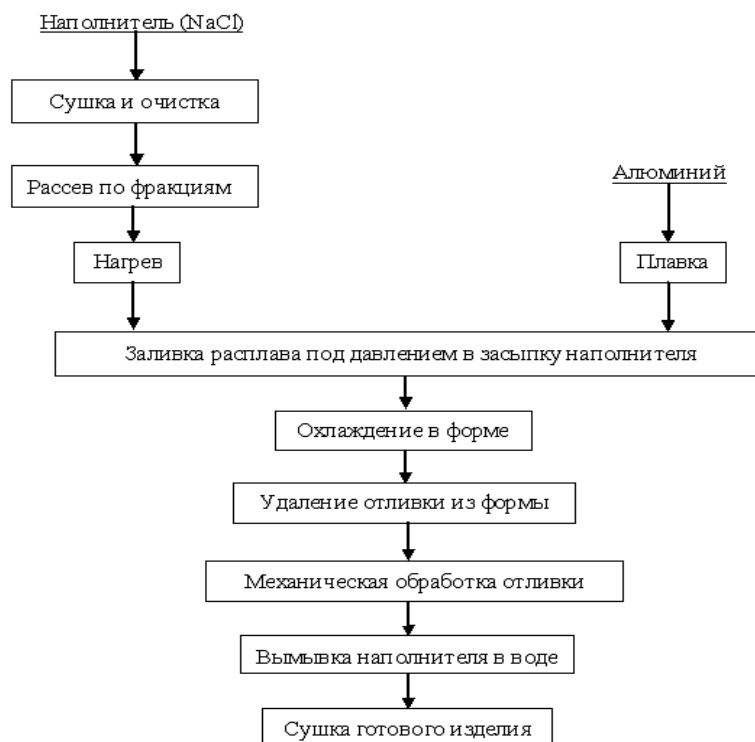


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема получения изделий из пористого алюминия

Развитие техники невозможно без разработки новых конструкционных и функциональных материалов с заранее заданным составом и, как следствие, свойствами, среди которых большой интерес представляют металломатричные композиционные материалы (МКМ), состоящие обычно из литой пористой основы – металломатрицы и наполнителя – легкоплавкого материала, которым пропитывают пористую преформу [1-4].

В МКМ основой являются литейные сплавы, а функциональным наполнителем — легкоплавкие материалы, внедренные в металломатрицу пропиткой.

Одним из методов получения МКМ являются жидкофазная технологическая схема - пропитка формованных дисперсных частиц или пористых преформ расплавом. Технология пропитки расплавом пористого наполнителя в настоящее время позволяет получать широкий спектр изделий из МКМ любых размеров и конфигурации, сочетающих в одном изделии многокомпонентную структуру.

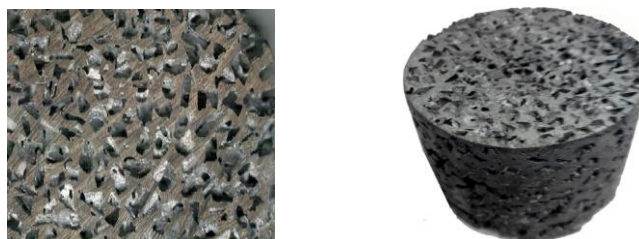


Рисунок 2 - Пористая заготовка-преформа из матричного алюминиевого сплава для пропитки легкоплавким наполнителем

В качестве основного технологического оборудования для получения изделий из МКМ рекомендована индукционная вакуумная машина для литья металлического сплава INDUTHERMVC3000V обладающая улучшенными в сравнении с аналогами и предшественниками характеристиками. Ключевыми преимуществами данного устройства являются комплектация виброприводом, пневматическим замком камеры плавления и функция избыточного давления. При относительно небольшом внешнем габарите и весе данная установка может одновременно обрабатывать до 9 кг металла, в частности, она считается одной из лучших для изготовления изделий из алюминия и магния, что позволяет использовать ее в оснащении производства изделий из МКМ. В сравнении с другими моделями INDUTHERMVC3000V обладает увеличенным до 3400 куб.см. тиглем и преформой с максимальным размером 450x600 мм, что позволяет использовать ее в промышленных целях.

Для получения пористых преформ и формования МКМ используются следующие принципиальные технологические схемы:

- Получение пористых преформ из пористого алюминия или магния: наполнитель (NaCl) – сушка и очистка – рассев по фракциям – засыпка наполнителя в оболочку и формообразование – нагрев наполнителя – заливка расплава под вакуумом (просасывание через наполнитель) – кристаллизация и охлаждение в форме – удаление отливки (литой заготовки) из формы – механическая обработка отливки – вымывка наполнителя в отливке водой (растворение соли) – сушка готового изделия.

- Готовую пористую заготовку помещают в гипсовую литейную форму и нагревают в печи, при необходимости в среде инертного газа (аргона или азота), до температуры, соответствующей температуре ликвидуса материала, выбранного в качестве материала наполнителя. Затем, литейная гипсовая форма с пористой преформой заливается перегретым над ликвидусом материалом наполнителем МКМ и производится его просасывание (пропитка) вакуумом. После охлаждения изделия из МКМ в литейной форме, оно извлекается из нее и, в случае необходимости, подвергается механической обработке.

Материал - наполнитель, в зависимости от служебных свойств изготавливаемого изделия, выбирают из группы металлов, содержащей Mg, Pb, Zn, используя их в чистом виде или в виде сплавов на основе любого из них [5,6].

Получение МКМ может быть использовано при создании эффективных лигатур и модификаторов для цветных сплавов.

Исследованиям и разработке металломатричных композиционных материалов уделяется значительное внимание практически во всех экономически развитых странах благодаря комплексу их технологических свойств, в том числе, как «носителя» состава, спланированных комплексов лигатур и модификаторов, при разработке новых конструкционных материалов, которые могут быть получены в этом классе материалов и которые труднодостижимы в материалах, получаемых с использованием традиционных технологий [7-10]. Предлагаемый способ получения МКМ методом вакуумной

пропитки (всасывания) матричного сплава через пористый сыпучий наполнитель, получение пористой преформы и дальнейшая ее пропитка легкоплавким наполнителем, обеспечивает возможность его промышленного серийного применения и прост в реализации, а также удешевляет получаемый с их помощью продукт и снижает расход дефицитных и дорогостоящих конструкционных материалов.

Библиографический список

1. Small-scale production of cast porous and composite materials / S. V. Knyazev, A. A. Usoltsev, A. I. Kutsenko [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : 21, Technologies, Innovation, Quality, Novokuznetsk, 23–24 октября 2019 года. – Novokuznetsk, 2020. – P. 012013. – DOI 10.1088/1757-899X/866/1/012013.

2. Князев, С. В. Новая технология ввода наноматериалов в расплав на основе использования пористых литых материалов / С. В. Князев, А. А. Усольцев, А. И. Куценко // Инновационные технологии в литейном производстве: Сборник трудов Международной научно-технической конференции, посвящённой 150-летию факультета "Машиностроительные технологии" и кафедры «Технологии обработки материалов» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 22–23 апреля 2019 года / Под общей редакцией К.А. Батышева, К.Г. Семенова. – Москва: Московский государственный областной университет, 2019. – С. 61-65.

3. Князев, С. В. Наноматериалы на основе пористых литых металлов и способ их ввода в расплав / С. В. Князев, А. А. Усольцев, А. И. Куценко // Литейное производство. – 2019. – № 9. – С. 5-7.

4. Разработка лабораторного оборудования для исследования процессов литья и сварки в вакууме / Б. М. Соколов, Н. В. Ознобихина, А. Е. Долгополов [и др.] // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 13–15 июня 2018 года. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2018. – С. 190-192.

5. Технология получения отливок из сплава 30ХГСЛ / Р. О. Мамедов, А. Е. Долгополов, А. В. Дмитриенко [и др.] // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 13–15 июня 2018 года. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2018. – С. 184-187.

6. Использование симплекс-метода Нелдера-Мида для оптимизации состава смесей при литье и сварке / А. Е. Долгополов, Р. О. Мамедов, Р. А. Шевченко [и др.] // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 13–15 июня 2018 года. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2018. – С. 193-198.

7. Чирков А. В. Технология ввода наноматериалов в расплав на основе использования пористых литых материалов / А. В. Чирков, М. А. Скрылев //

Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 12–14 мая 2021 года / Под общей редакцией Н.А. Козырева. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2021. – С. 411-416.

8. Скрылев М. А. Технологии получения литых композиционных материалов / М. А. Скрылев, А. В. Чирков // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 12–14 мая 2021 года / Под общей редакцией Н.А. Козырева. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2021. – С. 416-421.

9. Исследование технологических схем получения литых композиционных функциональных материалов / С. В. Князев, А. И. Куценко, А. А. Усольцев [и др.] // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2021. – Т. 77. – № 11. – С. 1156-1160. – DOI 10.32339/0135-5910-2021-11-1156-1160.

10. Создание предприятия кастомизированного мелкосерийного литейного производства для обеспечения горнодобывающей отрасли / С. В. Князев, А. И. Куценко, А. А. Усольцев, Б. М. Соколов // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2021. – № 7. – С. 283-286.

УДК 621.74.08

ЦИФРОВИЗАЦИЯ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Мурзин А.К., Кокорин В.С., Давыдыч Р.Е., Морозов М.А.
Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Князев С.В.,
канд. техн. наук, доцент Куценко А.И.,
канд. техн. наук, доцент Усольцев А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: krookia@mail.ru*

В настоящее время на крупных литейных предприятиях в целом решена задача автоматизации управления технологическими процессами с использованием цифровых АСУТП. Они позволяют вести управление процессами в замкнутом контуре (локально) по predetermined алгоритмам, реализовывать оптимальные стратегии управления с применением систем усовершенствованного управления и автоматически выполнять последовательности операций (например, пуск и останов оборудования, или расчет и ввод металлошихты, расчет рецептур, дозирование и смешивание формовочных и стержневых смесей) многостадийных периодических литейных процессов. Цифровая трансформация может существенно изменить сложившуюся практику работы литейного производства.

Ключевые слова: литье, технологии, цифровизация, управление, трансформация, автоматизация.

Работа современного литейного предприятия практически невозможна без использования интегрированной автоматизированной системы управления, обеспечивающей учет всех требуемых ресурсов и затрат, позволяющей контролировать производственные и технологические процессы и управлять ими [1,2].

В 1994 году Международная ассоциация производителей и пользователей систем управления производством (MESA International) предложила разделить информационно-управляющую систему предприятия на четыре функциональных уровня: стратегическое планирование и маркетинг (Business Process Management - BPM), финансово-хозяйственное управление (Enterprise Resource Planning - ERP), управление производством (Manufacturing Execution System – MES) и управление технологическими процессами (АСУТП). Начиная с 2004 года, термин MES переводится как Manufacturing Enterprise Solutions – корпоративные системы управления производством.

По определению MESA International, MES – это автоматизированная система управления и оптимизации производственной деятельности, которая в режиме реального времени: инициирует; отслеживает; оптимизирует, документирует производственные процессы от начала выполнения заказа до выпуска готовой продукции. MES является связующим звеном между ориентированными на финансово-хозяйственные операции ERP-системами и оперативной производственной деятельностью предприятия на уровне цеха, участка или производственной линии.

Необходимость в MES для автоматизации производства уже ни у кого не вызывает сомнения, но в вопросах выбора системы и подходах к ее реализации однозначного мнения нет.

Развитие производства, изменение технологии, расширение ассортимента продукции и услуг неизбежно приводят к появлению новых потребностей, моральному устареванию имеющихся систем и возникновению узких мест в управлении. Это сопровождается заменой старых функциональных систем на более современные и отвечающие потребностям производства. Интеграция различных по системно-техническим решениям и программным средствам систем сопровождается многочисленными интерфейсными связками, повторным вводом информации из одних систем в другие и т.д.

Следствием подобной ситуации, как правило, является постоянная потребность в наращивании вычислительных мощностей, увеличении штатов служб эксплуатации, обучении и переобучении персонала и т.п. Таким образом, затраты на поддержку информационных систем начинают расти быстрее, чем растет необходимая для управления функциональность.

Уровень MES гораздо чаще подвержен изменениям внутренних бизнес-процессов. Чтобы сохранить свои позиции на рынке предприятия вынуждены постоянно оптимизировать технологию, модернизировать и заме-

нять оборудование и системы их управления, что, несомненно, оказывает влияние и на управление производством в целом [3,4].

Поэтому необходим другой подход к созданию MES, основанный на решениях, обладающих достоинствами интегрированных систем и не имеющих недостатков, свойственных «кусочной» автоматизации. Такое решение есть и основано оно на использовании *интеграционных платформ*, в состав которых входят следующие основные компоненты:

- средства описания бизнес-процессов и создания логики управления;
- средства интеграции, позволяющие интегрировать приложения, реализованные в различных архитектурах, на разных системах управления базами данных и на разных системно-технических платформах;
- средства организации сбора и хранения данных;
- средства организации доступа к данным и функциям корпоративных систем;
- средства выполнения стандартных инженерных расчетов.

Интеграционная платформа обеспечивает системных интеграторов всеми необходимыми инструментами для быстрого создания и внедрения MES под любую специфику производства. Кроме того, она исполняет роль единой информационной шины, снижая затраты на интеграцию систем, и создает условия для высококачественной и быстрой разработки отдельных функциональных решений собственными силами предприятия [5].

Стратегия развития информационных технологий, основанная на использовании интеграционной платформы, создает ряд важнейших преимуществ:

- снижения общей стоимости системы, включая затраты на создание, внедрение, изменение, развитие, поддержку рабочих мест и обучение персонала;
- максимальное использование собственных ресурсов;
- повышение оперативности внесения изменений и устранения сбоев в системе;
- снижение зависимости от поставщиков и особенностей систем.

При этом необходимо соблюдать ряд правил, которые позволят обеспечить поддержку информационной целостности и функциональной интегрированности:

- Единая система нормативно-справочной информации (НСИ);
- Единый принцип описания бизнес-процессов;
- Единый принцип интеграции унаследованных и вновь внедряемых функциональных подсистем;
- Единый принцип разработки и сопровождения вновь разрабатываемых подсистем и приложений;
- Единый принцип доступа пользователей к корпоративной информации и функциональным приложениям;
- Единая система поддержки принятия решений.

Оптимальный набор функций MES с учетом рекомендаций обеих моделей может выглядеть следующим образом:

1. RAS (Resource Allocation and Status) – учет ресурсов.
2. ODS (Operations/Detail Scheduling) – оперативное планирование.
3. DPU (Dispatching Production Units) – диспетчеризация производства.
4. DCA (Data Collection/Acquisition) – сбор и хранение данных.
5. LUM (Labor/User Management) – управление людскими ресурсами.
6. QM (Quality Management) – управление качеством.
7. PM (Process Management) – управление процессами производства.
8. PTG (Product Tracking & Genealogy) – отслеживание и история продукции.
9. PA (Performance Analysis) – анализ эффективности.

Если объединить функции управления ресурсами RAS и LUM, то для поэтапной реализации полнофункциональной MES в производстве достаточно восьми функциональных модулей: Интерфейсы (DCA), История (DCA, PTG), Ресурсы (RAS, LUM), Планирование (ODS), Производство (PM), Диспетчеризация (DPU), Качество (QM) и Анализ (PA).

Назначение модулей следующее:

- *Интерфейсы* – обеспечивает взаимодействие информационных подсистем в целях получения, накопления и передачи технологических и управляющих данных. Данные могут быть получены с цехового уровня как вручную, так и автоматически от оборудования, в требуемом масштабе времени. Модуль отвечает также за представление информации пользователям системы.

- *Ресурсы* - обеспечивает контроль состояния и распределение всех ресурсов, задействованных в производстве, в реальном времени. Модуль включает функции ведения и синхронизации нормативно-справочной информации, а также управление ресурсами, включая их диспетчеризацию.

- *Производство* - обеспечивает управление производственными процессами и взаимодействие между интеллектуальным оборудованием (АСУТП) и MES, используя модуль “Интерфейсы”. Модуль содержит модели производства и расчетные алгоритмы, необходимые для оптимизации технологии и бизнес-процессов используемые также другими модулями системы. От правильной настройки данного модуля зависит эффективность системы в целом.

- *История* – обеспечивает хранение данных и отслеживание истории продукта и операций.

- *Качество* - обеспечивает анализ в реальном времени измеряемых показателей, полученных от производства, для управления качеством продукции и диагностики дефектности. Данная функция формирует рекомендации по устранению проблем, определяет причины брака. Включает статистическое управление качеством продукции, а также управление выполнением лабораторных исследований параметров продукции, металла, формовочных и стержневых смесей.

- *Диспетчеризация* – обеспечивает управление потоком единиц продукции в виде заданий, заказов, серий, партий в реальном времени.

- *Планирование* – включает оперативное/детальное планирование.

Обеспечивает упорядочение и расчет производственных заданий. Цель — составить производственное расписание с минимальными перенастройками оборудования, уменьшением времени получения готового продукта и времени простоя.

- *Анализ* – обеспечивает формирование отчетов о фактических результатах производственной деятельности, сравнение их с историческими данными и ожидаемым коммерческим результатом. Систематизирует информацию, полученную от разных модулей системы.

Ошибочно ждать экономического эффекта от внедренной MES, которая только обеспечивает сбор и представление данных пользователям. Ее эффективность во многом зависит от математического аппарата и алгоритмов заложенных в нее. Поскольку скорость выполнения операций на уровне MES достаточно велика, необходимо максимально автоматизировать процессы принятия решений, а не полагаться полностью на оперативный персонал.

Наибольшее влияние на работу других модулей и оптимизацию производства оказывает модуль *Производство*. Только на правильно составленные и настроенные модели технологических и бизнес-процессов могут дать наибольший экономический эффект. Например, в сталеплавильном производстве, невозможно сформировать оптимальный график работы оборудования, если не настроена модель плавки, агрегата внепечной обработки стали, изготовления форм и стержней. Нет возможности точно спрогнозировать время технологических операций и простоев. В этом случае неизбежен также перерасход материалов и повышенный процент брака.

Значительный экономический эффект можно также получить от внедрения модуля Ресурсы, включающего учет материальных потоков, энергоресурсов и материальный баланс.

Последовательность внедрения модулей MES может быть следующей: Интерфейсы – История – Ресурсы – Производство – Анализ – Планирование – Качество – Диспетчеризация.

Библиографический список

1. Алгоритм диагностики дефектности отливок и структура АСУ их качеством/ Князев С.В., Антипенко В.И., Марчуков В.А., Усольцев А.А. //Литейное производство. -1992. -№ 4. -с.26-27.

2. Князев, С. В. Алгоритм диагностики дефектности отливок и структура системы управления их качеством / С. В. Князев // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах : труды V Международной научно-практической конференции, Новокузнецк, 14 апреля 2021 года. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2021. – С. 224-227.

3. Непрерывный контроль крупногабаритных изделий литейного производства/Штейн А.М., Чепрасов А.И., Клименов В.А., Князев С.В., Чахлов С.В., Белкин Д.С.//Известия высших учебных заведений. Физика. 2013. Т. 56. № 1-2. С. 267-270.

4. Разработка технологических алгоритмов АСУ ТП смесеприготовления для автоматизированных формовочных линий / С. В. Князев, Г. Л. Хазан, В. И. Антипенко, В. А. Марчуков // Известия вузов. Черная металлургия. – 1992. – № 2. - С. 64-66.

5. Вопросы цифровой трансформации в литейном производстве / С. В. Князев, А. И. Куценко, А. А. Усольцев [и др.] // Металлургия: технологии, инновации, качество : Труды XXII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Новокузнецк, 10–11 ноября 2021 года / Под общей редакцией А.Б. Юрьева. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2021. – С. 304-309.

УДК 621.791.048

**ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРОЧНОГО ФЛЮСА ИЗГОТОВЛЕННОГО
ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНО-
ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ
ПОРШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ ПП-НП-35В9Х3СФ**

Михно А.Р., Шевченко Р.А., Жуков А.В.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: mikno-mm131@mail.ru*

В работе представлены результаты исследования сварочного флюса, изготовленного из шлака от производства ферросиликомарганца и флюса марки АН-148А при проведении ремонтно-восстановительных работ деталей металлургического оборудования путем наплавки порошковой проволокой ПП-Нп-35В9Х3СФ.

Ключевые слова: наплавка; порошковая проволока; сварочный флюс; шлак силикомарганца; АН-348А; микроструктура; неметаллические включения; твердость; износостойкость.

Прокат металла – это очень сложная и энергозатратная операция. Для обжатия материала, достижения определённых размеров обрабатываемого профиля используются прокатные валки. Валки в процессе своей работы берут на себя внушительное усилие, которое возникает непосредственно в процессе работы всей прокатной линии. Именно поэтому прокатный валок – наиболее изнашивающаяся часть любого прокатного стана [1-4]. Вопрос восстановления прокатных валков является очень актуальным [5-10], и он требует постоянного развития технологии его проведения. Ремонт и наплавка поверхности бочки прокатного валка является очень трудоемким процессом, на который затрачивается довольно большой временной ресурс, поэтому появление новых материалов [11-13], усовершенствование имеющихся

технологий восстановления, а также поддержка работоспособности валков является одной из самых значимых задач в прокатном производстве.

Целью данной работы является исследование новых материалов применяемых для восстановления прокатных валков в условиях АО «ЕВРАЗ ЗСМК», а также исследование свойств наплавленного металла порошковой проволокой 35В9ХЗСФ под разработанным флюсом на основе шлака силикомарганца [14-15] и флюса марки АН-148А.

Для проведения исследования были предоставлены образцы проволоки марки 35В9ХЗСФ диаметром 3,6 мм. Изготовленные ООО «ОФЗ Новокузнецк» с сертификатом качества, представленным в таблице 1.

Таблица 1- Данные сертификата качества.

Условное обозначение продукции						Марка оболочки			Коэффициент заполнения, %	Твердость HRC
ПП-Нп-35В9ХЗСФ						08Ю 0,6×14				
Химический состав наплавленного металла, %									41	48÷52
С	Cr	Si	Mn	W	V	P	S	Mo		
0,362	3,10	0,61	0,06	7,4	0,092	0,014	0,013	≤0,05		

Первые опыты по наплавке образцов производилась под флюсом марки АН-348А и флюсом на основе обогащённого шлакового щебня производства силикомарганца с химическим составом, представленным в таблице 2. Маркировка исследуемых образцов по используемому флюсу: АН-348А - 1.1, Шлак SiMn - 1.2.

Таблица 2 – Химический состав используемого флюса

Массовая доля элементов, %													
Флюс	FeO	MnO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	S	P	ZnO	C	F	TiO ₂	Cr ₂ O ₃
АН-348А	2,38	4,81	15,25	22,41	13,99	23,58	0,041	0,031	0,012	0,020	10,46	2,56	0,14
Шлак SiMn	0,50	15,95	28,15	41,07	6,95	1,78	0,21	0,02	0,011	0,029	0,21	0,16	0,049

Режим наплавки образцов выбран исходя из ранее используемого режима наплавки: сила тока 410А, напряжение 29В, скорость наплавки 30 см/мин.

После наплавки образцов изучался химический состав наплавленного слоя, проводились металлографические исследования, осуществлялся замер твердости наплавленного слоя, проводились механические испытания на потерю массы образца при трении металл-металл, а также статистическая обработка полученных данных.

Химический состав полученных образцов представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав наплавленного металла

Флюс	Массовая доля элементов, %													
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	W	V	Mo	Al	Nb	S	P
АН-348А	0,34	0,76	1,75	4,04	0,07	0,09	0,016	9,62	0,10	0,28	0,063	0,05	0,014	0,018
Шлак SiMn	0,38	0,79	1,78	3,94	0,07	0,08	0,005	9,40	0,09	0,32	0,025	0,05	0,04	0,013

Как видно из таблицы 3 усвоение основных элементов находится примерно на одном уровне и более высокого угара основных элементов под ис-

следуемым флюсом не наблюдается, при этом отмечается повышенное содержание серы и пониженное фосфора.

Измерение твердости наплавленного слоя (таблица 4) исследуемых образцов выполняли по методу Бринелля с помощью ультразвукового твердомера УЗИТ-3 в соответствии с требованиями ГОСТ 9012-59.

Механические испытания на потерю массы образца при трении металл-металл, наплавленного слоя опытных образцов определяли путем проведения испытаний на износ на машине 2070 СМТ-1. Результаты износостойкости исследуемых образцов представлены в таблице 5. Пониженные значения твердости и износостойкости под исследуемым флюсом могут быть связаны с несколько более низкими значениями вольфрама и хрома в наплавленном слое.

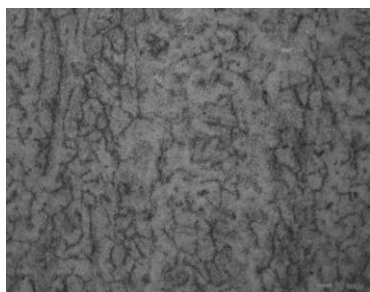
Таблица 4 –Твердость наплавленного слоя исследуемых образцов

Флюс	Твердость НВ										Твердость HRC				
	614	535	475	576	610	614	553	523	518	596	52,4	49,4	53,7	52,4	50,5
АН-348А	614	535	475	576	610	614	553	523	518	596	52,4	49,4	53,7	52,4	50,5
Шлак SiMn	527	530	544	601	588	632	475	572	616	555	51,7	54,2	47,4	51,3	51,4

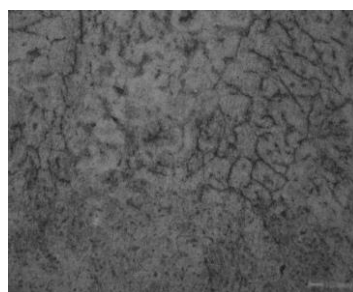
Таблица 5 – Основные показатели твердости и износостойкости исследуемых образцов

Флюс	Пределы твердости по НВ	Пределы твердости по HRC	Средняя твердость НВ	Средняя твердость HRC	Износ гр/оборот
АН-348А	475-614	49,4-53,7	515	51,7	1,24273E-05
Шлак SiMn	475-632	47,4-54,2	517	51,2	1,40295E-05

Металлографические исследования полированных микрошлифов проводились с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений от $\times 100$ до $\times 1000$. Микроструктуру (рисунок 1) выявляли путем травления образцов в растворе 4 % HNO_3 в этиловом спирте. Исследование образцов наплавленного слоя на наличие неметаллических включений (рисунок 2, таблица 6) проводили по ГОСТ 1778-70. Полированную поверхность изучали при увеличении $\times 100$.



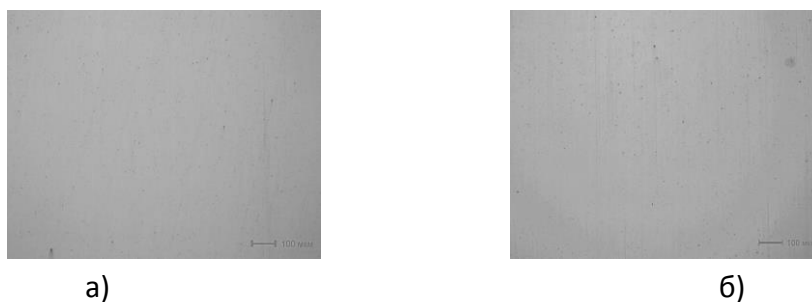
а)



б)

а – образец, наплавленный с использованием флюса АН-348А; б – образец, наплавленный с использованием флюса на основе шлака силикомарганца

Рисунок 1 – Структура наплавленных образцов, $\times 500$



а – образец, наплавленный с использованием флюса АН-348А; б – образец, наплавленный с использованием флюса на основе шлака силикомарганца

Рисунок 2 – Неметаллические включения в наплавленном слое, $\times 100$

Таблица 6 – Оценка неметаллических включений в наплавленном слое

Флюс	Оксиды точечные	Силикаты недеформирующиеся
АН-348А	2а	1а,2а
Шлак SiMn	2а	2б,2а

Никаких особых изменений при наплавке под опытным флюсом порошковой проволокой 35В9Х3СФ не выявлено. Отличительной особенностью исследуемого флюса является повышенное содержание серы и пониженное фосфора, микроструктура без особых отличий (Рисунок 1), загрязненность неметаллическими включениями без особых отличий (рисунок 2, таблица 6). Внешний вид срезов исследуемых образцов, наплавленных под исследуемыми флюсами, указывает на то, что укрупняющие свойства рассматриваемых флюсов одинаковы.

Выводы:

1. Показана возможность использования флюса, изготовленного из шлака силикомарганца для наплавки с использованием наплавочных, проволок типа 35В9Х3СФ с наплавочными флюсами на основе обогащённого шлакового щебня.

2. Разработаны и оптимизированы режимы наплавки с использованием порошковой проволокой диаметром 3,6 мм 35В9Х3СФ под флюсами, изготовленными из шлака силикомарганца. Выбор энерготехнологических режимов осуществлялся исходя из рекомендованных режимов наплавки по ГОСТ 26101-84.

3. Установлено, что при использовании флюса на основе шлака от производства ферросиликомарганца в сравнении с флюсом марки АН-348А, никаких особых изменений при наплавке порошковой проволокой 35В9Х3СФ не выявлено. Микроструктура и загрязнённость наплавленного слоя неметаллическими включениями без особых отличий.

Библиографический список

1. Быстров В.А., Дьяков П.К., Уманец А.Г. Условия эксплуатации и износ валков прокатного стана горячего металла. Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия. 2014;57(5):24-29. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2014-5-24-29>.

2. Сидоров В.А. Закономерность износа вкладышей универсальных шпинделей прокатных станков / В.А. Сидоров, Н.В. Нижник // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2005, №3. – С. 94-96.

3. Рябцев И. А. Высокопроизводительная широкослойная наплавка электродными проволоками и лентами / И. А. Рябцев // *Автоматическая сварка*. – 2005. – № 6. – с. 36–41.

4. Матвиенко В.Н. Оценка формы и размеров сварочной ванны при наплавке комбинированным ленточным электродом / В.Н. Матвиенко, В.А. Мазур, Л. К. Лещинский // *Автоматическая сварка*. – 2015. – № 9. – с. 30–33.

5. Расчет зоны проплавления при широкослойной наплавке прокатных валков / Матвиенко В.Н., Лещинский Л.К., Мазур В.А. // *Металлург*. – 2016. – №1. – с.80–83.

6. Рябцев И.А. Наплавка деталей машин и механизмов. — Киев: *Эко-технологія*, 2004. — 160 с.

7. Громов В.Е., Капралов Е.В., Райков С.В., Иванов Ю.Ф., Будовских Е.А Структура и свойства износостойких покрытий, наплавленных электродуговым методом на сталь порошковыми проволоками // *Успехи физики металлов*. – 2014. – Т.15. – С. 211–232.

8. Капралов Е.В., Будовских Е.А., Громов В.Е., Райков С.В., Иванов Ю.Ф. Формирование наноструктурно-фазовых состояний и свойств износостойкой наплавки на стали // *Наноинженерия*. – 2015. – №4(46). – С. 14–23.

9. Капралов Е.В., Райков С.В., Будовских Е.А. и др Структурно-фазовые состояния и свойства покрытий, наплавленных на поверхность, стали порошковыми проволоками // *Изв. РАН. Сер. физ.* – 2014. – Т.78, №10. – С. 1266–1272.

10. Вострецов, Г. Н. Порошковая проволока для плазменной наплавки прокатных валков в среде азота / Г. Н. Вострецов, Т. А. Бич, Л. П. Башенко // *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. – 2014. – № 3 (9). – С. 36–40.

11. Исследование влияния состава порошковых проволок на характеристики наплавленного слоя прокатных валков / Н. А. Козырев, Н. В. Кибко, А. А. Уманский, Д. А. Титов, П. Д. Соколов // *Вестник Российской Академии естественных наук. Западно-Сибирское отделение*. – Новокузнецк, 2016. – Вып. 19. – С. 149–154.

12. Влияние введения вольфрама и хрома на свойства металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co / А. И. Гусев, Н. А. Козырев, Н. В. Кибко, Р. Е. Крюков, И. В. Осетковский // *Заготовительные производства в машиностроении (Литейное и сварочное производства)*. – 2019. – Т. 17, № 2. – С. 56–60.

13. Козырев, Н. А. Экспериментальные исследования и обоснование новых составов порошковых проволок для наплавки прокатных валков / Н. А. Козырев, А. А. Уманский, Д. А. Титов // *Технологии реновации машин и оборудования : материалы Всероссийской научно-практической конференции в рамках XI промышленного салона и специализированных выставок*

"Промэкспо, станки и инструмент" "Сварка, контроль, диагностика", 25-26 февраля 2016 г. – Уфа : Башкирский ГАУ, 2016. – С. 115–119.

14. Выбор энерго-технологических режимов сварки под флюсом, изготовленным из шлака производства силикомарганца для деталей горношахтного оборудования / Н. А. Козырев, А. А. Усольцев, Р. Е. Крюков, Р. А. Михно // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов : научный журнал. – 2020. – № 6. – С. 175–180.

15. Разработка новых сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца / Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, А. А. Усольцев, А. Р. Михно, Л. П. Басценко // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2018. – № 6 (1422). – С. 55–66.

УДК 620.17

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ

Чумачков И.И., Михно А.Р.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: putlife@mail.ru*

В работе представлены исследования влияния электроэрозионной обработки на результаты измерений ударной вязкости, рельсов типа Р65 стали марки Э76ХФ категории ДТ350 текущего производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Ключевые слова: рельсы, прочностные свойства, ударная вязкость, электроэрозионная обработка.

В связи с повышением объема грузоперевозок железнодорожным транспортом продолжают расти требования к качеству выпускаемых железнодорожных рельсов. На текущий момент перед заводом изготовителем помимо улучшения физико-механических свойств готовой продукции ставится не менее актуальная задача в области повышения достоверности результатов испытаний железнодорожных рельсов.

Заданные механические свойства определяются индивидуальными методами контроля, к одним из них относится параметр ударной вязкости, где рассчитывается работоспособность металла в условиях нагружения и определяется его склонность к хрупкому разрушению, что особенно важно в условиях ответственности железнодорожных рельсов [1, 2].

Известно, что образцы на ударный изгиб чувствительны к точности изготовления. Особенно тесная связь отмечается в соответствии геометрии U-образного концентратора [3]. В настоящее время основным нормативным документом для ударных образцов служит ГОСТ 9454 – 78 [4], который не регламентирует способ их изготовления.

Изготовление канавки для образцов на ударный изгиб осуществляется методами протяжки, использованием фрезерных станков и электроэрозионной обработки, последний из которых все чаще применяется для изготовления эталонных образцов. Тем не менее, не до конца решен вопрос о влиянии параметров обработки на свойства испытанных образцов, в частности ударной вязкости.

С целью исследования влияния электроэрозионной обработки на результаты измерений ударной вязкости, из рельса типа Р65 стали марки Э76ХФ категории ДТ350 текущего производства АО «ЕВРАЗ ЗСМК», отобрали и замаркировали 10 пар последовательно вырезанных ударных образцов типа I по ГОСТ 9454–78 с помощью фрезерного станка с ЧПУ VF3.

На четном номере от каждой пары образцов методом электроэрозионной обработки на станке AgieCharmilles «CUT E 600» нанесен «U-образный» концентратор. На остальных образцах «U-образный» концентратор нанесен по текущей технологии с применением фрезерного станка VF3 (таблица 1).

Обр. №1	Обр. №3	Обр. №5	Обр. №7	Обр. №9	Обр. №11	Обр. №13	Обр. №15	Обр. №17	Обр. №19
<i>Поверхность катания головки</i>									
Обр. №2	Обр. №4	Обр. №6	Обр. №8	Обр. №10	Обр. №12	Обр. №14	Обр. №16	Обр. №18	Обр. №20

Рисунок 1 – Схема разметки пробы

Испытания на ударный изгиб проводили в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51685-2013 при температуре испытания + 20 0С на маятниковом копре РКР-450 с энергией удара 150 Дж. Результаты испытаний представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1 – Основные результаты испытаний образцов

Нанесение концентратора фрезерованием		Нанесение концентратора электроэрозионным способом		Разница между результатами испытаний
Номер образца	Ударная вязкость, Дж/см ²	Номер образца	Ударная вязкость, Дж/см ²	
1	39	2	18 ↓	21
3	40	4	34 ↓	6
5	27 ↓	6	33	6
7	34	8	23 ↓	11
9	36	10	25 ↓	11
11	38	12	32 ↓	6
13	41	14	33 ↓	8
15	25 ↓	16	34	9
17	39	18	33 ↓	6
19	38	20	34 ↓	4
<i>Минимум</i>	25	<i>Минимум</i>	18	6
<i>Максимум</i>	41	<i>Максимум</i>	34	21
<i>Среднее</i>	35,7	<i>Среднее</i>	29,9	8,8
<i>Стандартное отклонение</i>	5,49	<i>Стандартное отклонение</i>	5,74	–

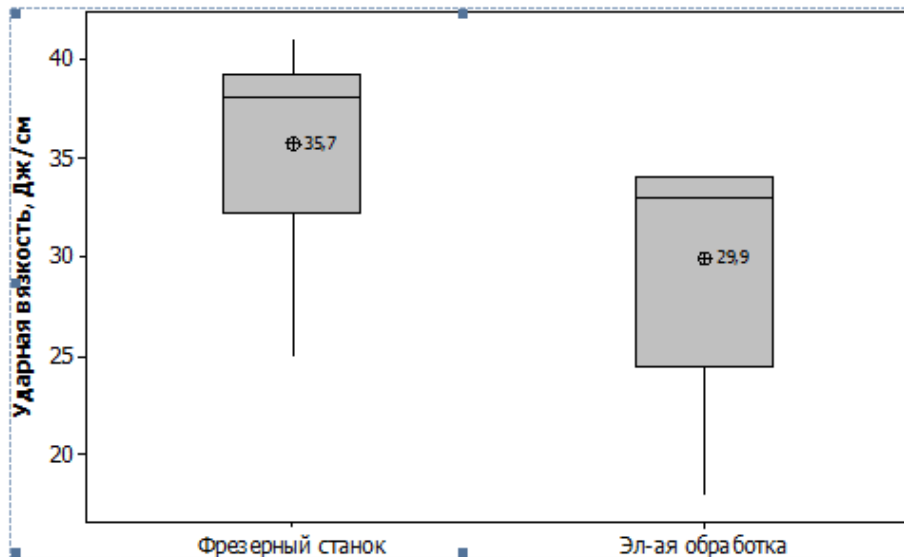


Рисунок 1 – Сравнение результатов измерений

Из представленных результатов измерений видно, что значения ударной вязкости образцов, концентраторы которых изготовлены на фрезерном станке, находятся на более высоком уровне (25-41 Дж/см²), по сравнению с образцами, на которых концентраторы были нанесены электроэрозионным способом, в среднем на 8,8 Дж/см² (29,4 %).

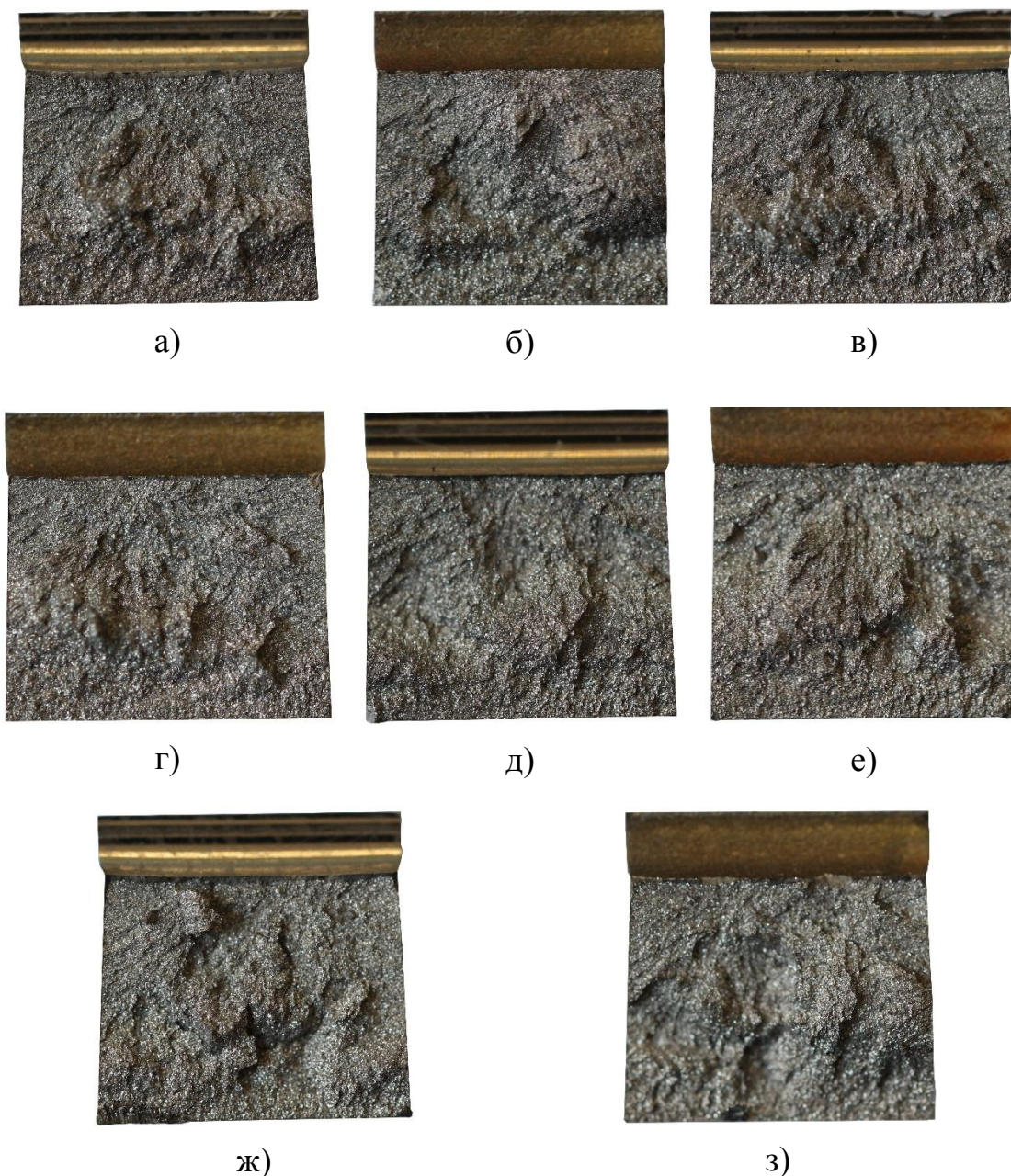
В 8 из 10 случаев, парное значение ударной вязкости было выше на 6-21 Дж/см² в образцах с концентратором, изготовленным фрезерованием. Значения стандартного отклонения для обеих выборок находятся на сопоставимом уровне, что свидетельствует о высокой репрезентативности сравнительных испытаний.

Низкие значения коэффициента корреляции между двумя выборками (-0,145) свидетельствуют об отсутствии взаимосвязи между парными значениями.

С целью исследования влияния методов нанесения концентраторов на образцах, оценена морфология их поверхности. Образцы отбирались по следующим критериям: высокий размах, минимальные и максимальные значения.

В процессе упругого нагружения при отсутствии макропластической деформации на всех пробах образован хрупкий излом. На представленном изображении (рисунок 2) в узком объеме материала по кромке концентраторов, прилегающих к поверхности разрушения, наблюдается тонкий слой локальной деформации. Начало излома образцов находится у поверхности. По границе основного металла и нижней грани канавки наблюдается темный слой.

Образцы на ударный изгиб, приготовленные по текущей технологии имеют сплошной темный слой. В образцах, приготовленных с применением электроэрозионной обработки темный слой местами прерывается.



а – образец №1; б – образец № 2; в – образец № 7; г – образец № 8; д – образец № 15;
 е – образец № 10; ж – образец №13; з – образец № 4 (таблица 1)

Рисунок 2 – Поверхность образцов после испытаний на ударный изгиб – вязкое разрушение

Микроструктура металла оценена на электронном микроскопе TESCAN MIRA 3. При проведении исследования микроструктуры на границе раздела между основным металлом и гранью концентратора, нанесенным методом электроэрозионной обработки, обнаружена оплавленная поверхность и светлотравящийся слой. По месту концентраторов, канавка которых приготовлена с использованием фрезерного станка, наблюдается слой наклепанного металла, по кромке структура деформированная, пластины цементита поломаны.

Выводы:

В результате исследования влияния электроэрозионной обработки на результаты измерений ударной вязкости установлено, что:

1. Значения ударной вязкости образцов, концентраторы которых изготовлены на фрезерном станке, находятся на более высоком уровне (25-41 Дж/см²), по сравнению с образцами, на которых концентраторы были нанесены электроэрозионным способом, в среднем на 8,8 Дж/см² (29,4%).

2. Параметр стандартного отклонения для двух выборок находится на сопоставимом уровне. Вероятность достоверности полученных измерений считается высокой.

3. Низкий коэффициент корреляции между двумя выборками (-0,145) свидетельствует об отсутствии взаимосвязи между парными значениями.

4. Причиной низких показателей ударной вязкости в образцах, канавка которых приготовлена с применением метода электроэрозионной обработки, является мартенсит, выделившийся при локальном оплавлении металла и последующем резком охлаждении в токопроводящей жидкой среде импульсным дуговым разрядом. Остаточные растягивающие напряжения, образованные после охлаждения оплавленного металла, также способствовали снижению показателей ударной вязкости. В процессе работы электроэрозионного станка также образуется неравномерная поверхность, когда дуга локально выбивает «лунки», являющиеся дополнительными концентраторами напряжений при испытании на ударный изгиб.

5. Нанесение концентратора фрезерным станком не влияет на фазовую составляющую металла. В процессе обработки проб по месту канавки образуется зона деформированного металла с поломанными пластинами цементита, что, вероятно, положительно сказывается на показателях ударной вязкости.

Библиографический список

1. Золоторевский В. С. Механические свойства металлов // В. С. Золоторевский. – М.:Металлургия, 1983. – 352С.

2. Шур Е. А. Повреждения рельсов // Е. А Шур. – М.:Транспорт, 1971. –112С

3. Тимощук Л. Т., Механические испытания металлов // Л. Т. Тимощук М.:«Металлургия», 1971 – 224С.

4. ГОСТ 9454 – 78 Метод испытания на ударный изгиб при пониженных комнатной и повышенных температурах

ВЛИЯНИЕ ВЫЛЕЖИВАНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ

Чумачков И.И., Михно А.Р.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: putlife@mail.ru*

В рамках оценки качества рельсового металла проведена оценка влияние вылеживания на результаты испытаний прочностных и пластических свойств. Выявлена зависимость между временем вылеживания образцов после изготовления и величиной значений после испытаний.

Ключевые слова: рельсы, прочностные свойства, пластические свойства, вылеживание.

Контроль качества металла рельсов с целью проверки его свойств соответствии нормативным требованиям считается важным этапом при производстве ответственных деталей. Однако качество металла, от которого зависит и надежность готового продукта, в процессе измерения механических свойств иногда определяется недостаточно точно из-за широких рамок требований нормативных документов или не описывающих их в достаточной мере, где примером может послужить методика определения прочностных свойств и ударной вязкости рельсового металла.

Определение механических свойств рельсов при испытании на растяжение и ударный изгиб для большинства рельсов проводят при комнатной температуре по ГОСТ 1497-1986 и ГОСТ 9454-78 соответственно [1, 2]. Заготовки для изготовления образцов допускается перед испытанием на растяжение и на ударный изгиб выдерживать до 6 ч при температуре не более 200 °С, но при этом не оговаривается время выдержки при комнатной температуре. С целью исследования влияния вылеживания на механические свойства изготовленных образцов, из рельсов текущего производства рельсобалочного цеха АО «ЕВРАЗ ЗСМК» типа Р65 категорий прочности ДТ350 и ДТ370ИК стали марок Э76ХФ и Э90ХАФ соответственно, вырезали и условно замаркировали заготовки для токарного и фрезерного станков с ЧПУ.

Из отсортированных заготовок изготовили образцы для испытаний на растяжение и ударный изгиб по ГОСТ 1497-84 и ГОСТ 9454-78 соответственно. Оценку качества металла рельсов проводили в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51685-2013; дополнительно полученные результаты испытаний сравнили с химическим составом стали.

Исходя из результатов испытаний, построены диаграммы «boxplot» (рисунки 1 – 3). На рельсах категории ДТ350 (рисунок 1) не наблюдается зависимости прочностных свойств от продолжительности вылеживания. Принимая во внимание расчет неопределённостей, заключающийся в погрешно-

сти измерительного инструмента и испытательной машины (для разрывной испытательной машины равный 1%), колебания пределов прочности и текучести, в целом, находятся на сопоставимом уровне.

Продолжительность вылеживания образцов коррелирует с результатами испытаний пластических свойств рельсов категории ДТ350. Пиковые значения лежат в диапазоне 2 часов вылеживания. Дальнейшее увеличение времени вылеживания (более 3 часов) приводит к падению свойств. При длительном вылеживании первый квартиль результатов испытаний ниже результатов образцов «без вылеживания» (рисунок 1). Оптимальное время выдержки для категории прочности ДТ350 составляет 2 – 2,5 часа.

Из анализа результатов измерений механических свойств рельсов категории ДТ370ИК (рисунок 2) следует, что увеличение времени вылеживания положительно влияет на показатели прочности. При максимальном времени вылеживания образцы обладают наибольшими пределами прочности и текучести, при этом стандартное отклонение результатов испытаний в ~1,5 раза ниже, по сравнению с образцами без вылеживания. Пластические свойства образцов находятся на сопоставимом уровне, наблюдаемые изменения на графиках лежат в предел ошибки измерений. Беря во внимание характер распределения свойств, оптимальное время вылеживания для рельсов категории ДТ370ИК составляет 2 – 2,5 часа.

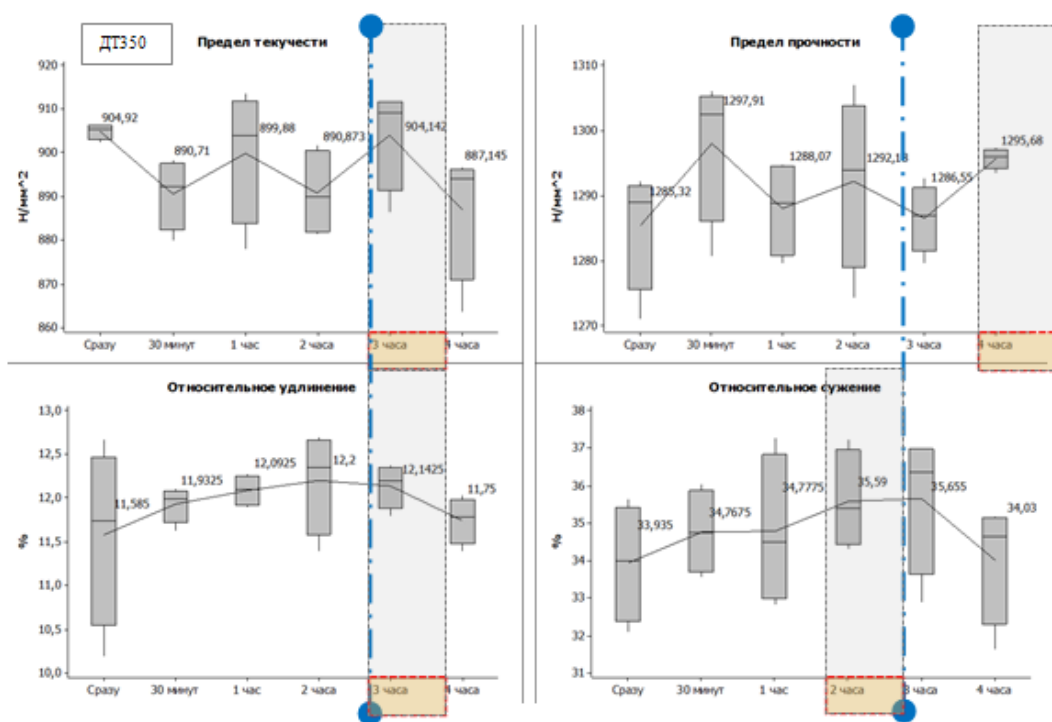


Рисунок 1 – Изменение механических свойств образцов рельсов категории ДТ350

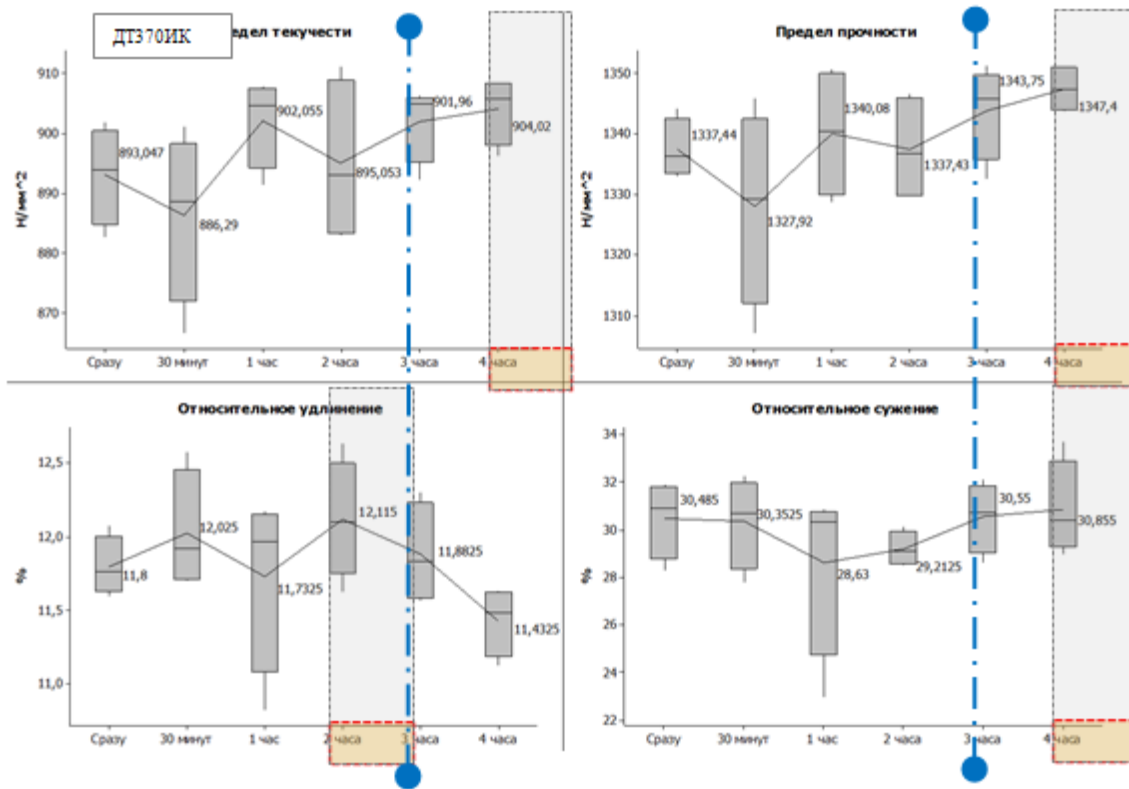


Рисунок 2 – Изменение механических свойств образцов рельсов категории ДТ370ИК

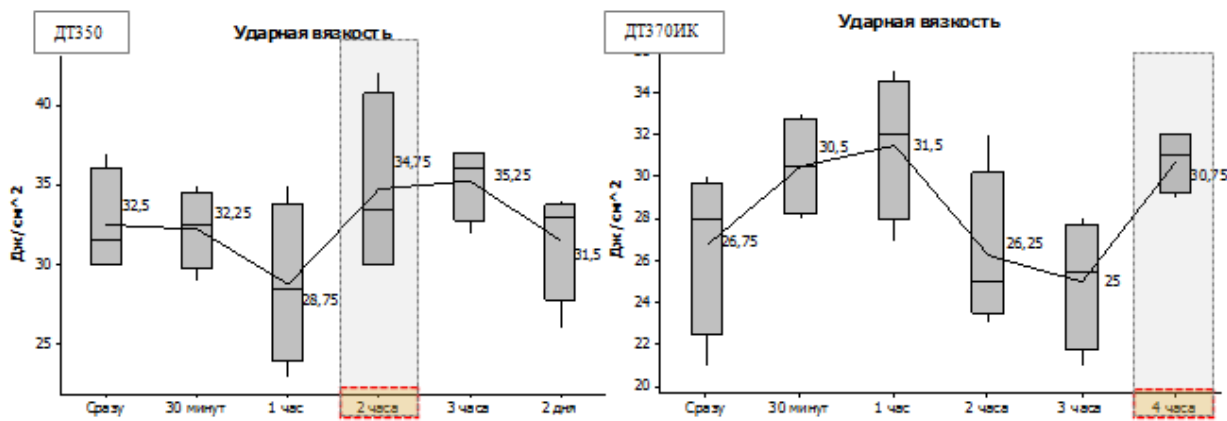


Рисунок 3 – Изменение свойств ударной вязкости рельсов категории ДТ350 и ДТ370ИК

Исходя из результатов испытаний образцов на ударный изгиб (рисунок 3) в зависимости от продолжительности вылеживания установлено, что оптимальное время вылеживания для категории прочности ДТ350 составляет 3 часа, для категории прочности ДТ370ИК 4 часа.

С целью оценки влияния химического состава стали на полученные результаты испытаний, проведено сравнение ковшевого и контрольного химических составов металла (таблица 1).

Таблица 1 - Химический состав

	Номер плавки	Раскат	Массовая доля химических элементов, %										
			C	Mn	Si	P	S	V	Cr	Ni	Cu	Al	Ti
ДТ350	20862	A101											
	Ковшевой анализ		0,76	0,79	0,55	0,011	0,005	0,04	0,42	0,08	0,12	0,003	0,002
	Контрольный анализ		0,75	0,79	0,56	0,010	0,006	0,04	0,42	0,08	0,11	0,003	0,002
	Требования ГОСТ Р 51685-2013 и ТУ 0921-276-01124323-2012 для стали марки Э76ХФ		0,71-0,82	0,75-1,25	0,25-0,60	не более 0,020		0,03-0,15	0,20-0,80	не более 0,20 0,20 при Ni + Cu не более 0,27 %		0,004	0,010
ДТ370ИК			Массовая доля химических элементов, %										
	Номер плавки	Раскат	C	Mn	Si	P	S	V	Cr	Ni	Cu	Al	Ti
	20547	A101											
	Ковшевой анализ		0,84	0,79	0,54	0,008	0,007	0,08	0,30	0,08	0,10	0,003	0,002
Контрольный анализ		0,85	0,79	0,53	0,008	0,007	0,08	0,29	0,08	0,10	0,003	0,002	
Требования ГОСТ Р 51685-2013 и ТУ 0921-276-01124323-2012 для стали марки Э90ХАФ		0,83-0,95	0,75-1,25	0,25-0,60	не более 0,020		0,08-0,15	0,20-0,60	не более 0,20 0,20 при Ni + Cu не более 0,27 %		0,004	0,010	

Вывод: исходя из результатов сравнения табличных данных, ковшевой и контрольный химические составы рельсов типа Р65, категорий прочности ДТ350 и ДТ370ИК стали марок Э76ХФ и Э90ХАФ соответственно, находятся на сопоставимом уровне; контрольный химический анализ стали исследуемых проб близок к ковшевому.

Библиографический список

1. ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение»
2. ГОСТ 9454-78 «Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах»

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ИЗНОСА

Казарян Л.А., Полегешко С.А., Бабин Н.С.

**Научные руководители: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.,
канд. техн. наук, доцент Усольцев А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: LUDWIG-KAZARYAN10@mail.ru*

Исследовано влияние введения порошка титана в состав порошковой проволоки на наплавленный слой. Изготовлено 4 варианта составов порошковой проволоки с различным содержанием титана. Проведена наплавка образцов с использованием порошковых проволок изучаемого состава, изучена наплавленная область под металлографическом микроскопом.

Ключевые слова: наплавка, порошковая проволока, сварочный флюс, порошок титана, износ.

Качество деталей работающих в условиях интенсивного износа в большей степени, зависит от выбора сварочных материалов и технологических свойств. Состав выбранного материала определяет состав жидкого шлака, атмосферы дуги, химический состав наплавленного слоя, от которого зависит структура, механические свойства детали [1,4]. Наплавка порошковой проволокой производилась в лабораторных условиях НПЦ «Сварочные процессы и технологии» на подложку из стали 09Г2С в три слоя под флюсом. Флюс изготовлен из отхода металлургического производства шлака производства ферросиликомарганца с химическим составом: Fe-0.52%; MnO-16.15%; CaO-29.13%; SiO₂-42.40%; Al₂O₃-6.80%; MgO-1.39%; Na₂O- 0.18%; K₂O-0.59%; S-0.23%; P-0.022%; WO₃-0.0006%; ZnO-0.004%; C- 0.024%; F-0.32%; PbO-0.0006%; TiO₂-0.17%; SrO-0.22%; Cr₂O₃-0.033%; BaO-0.76%. С использованием сварочного трактора ASAW-1250 на режиме: Сила тока I= 470А, напряжение U= 30В, скорость наплавки V= 20см/мин [2-3].

Для изготовления порошковых проволок были использованы порошкообразные материалы: железный порошок ПЖВ-1 по ГОСТ 9849-86, углеродфторсодержащий материал (пыль газоочистки алюминиевого производства), порошок марганца МР-0 по ГОСТ 6008-82, порошок кремния КР-1 по ГОСТ 2169-69, порошок титана ПТС по ТУ 14-22-57-92, молибденовый порошок МПЧ по ТУ 48-19-69-80 порошок никеля ПНК-1Л5 по ГОСТ 9722-97. Блок схема процесса изготовления порошковой проволоки представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 - Блок схема процесса изготовления порошковой проволоки

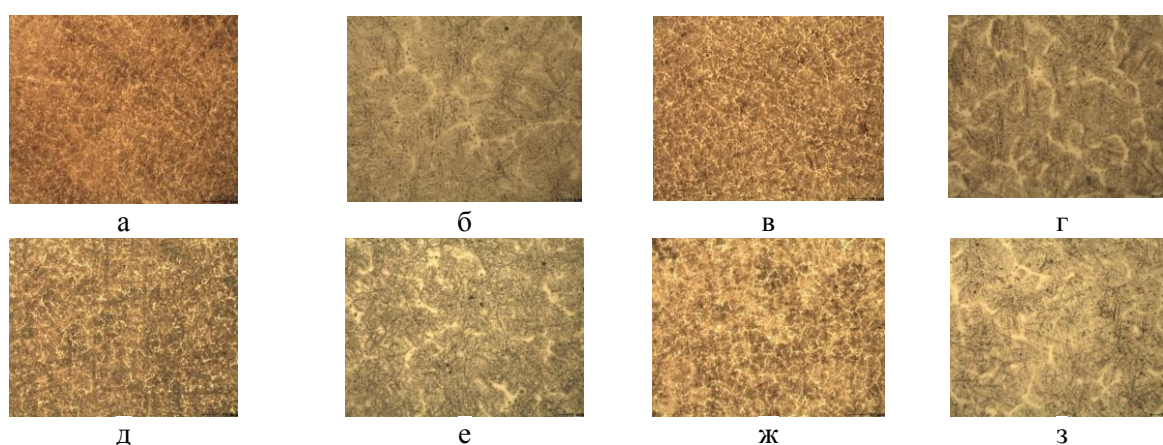
Результаты химического состава наплавленного металла, представленный в таблице 1, определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 по ГОСТ 28033 – 89 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71 по ГОСТ Р ИСО 14284-2009.

Таблица 1- Результаты химического состава наплавленных образцов

№ пробы	Массовая доля элементов в, %													
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	W	V	Mo	Al	Nb	S	P
05	0,17	0,60	1,07	3,72	0,27	0,06	0,005	0,11	0,001	0,71	0,012	0,004	0,068	0,016
06	0,17	0,59	1,01	3,87	0,30	0,06	0,008	0,071	0,003	0,71	-	0,003	0,063	0,017
07	0,18	0,68	1,20	3,60	0,29	0,07	0,014	0,049	0,004	0,71	0,007	0,004	0,076	0,023
08	0,19	0,79	1,29	3,44	0,26	0,05	0,024	0,039	0,003	0,64	0,008	0,005	0,059	0,020

Изучение микроструктуры проводилось с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 и программного обеспечения SIAMS Photolab после травления поверхности образцов в 4 %-ном растворе азотной кислоты на универсальных объективах (10x, 20x, 50x, 100x). Микроструктура наплавленных слоёв порошковой проволокой приведена на рисунке 2. Характеристика микроструктуры наплавленного слоя представлена в таблице 2.

Порошок титана был введён в проволоку с целью уменьшения зерна аустенита.



а – образец 0,2,х200; б – образец 0,2,х500; в – образец 1,х200; г – образец 1,х500; д – образец 2,х200; е – образец 2,х500; ж – образец 3,х200; з – образец 3,х500;

Рисунок 2- Микроструктура наплавленного слоя порошковой проволокой системы C-Si-Mn-Ni-Al-Co-Cu-P

Таблица 2- Характеристика микроструктуры наплавленного слоя

Образец №	Балл зерна мартенсита	Размер игл мкм	Величина бывшего зерна аустенита мкм
05	5	6-8	5
06	5	4-8	5
07	5	5-8	5
08	6	6-11	5

Микроструктура наплавленного слоя порошковой проволокой системы C-Si-Mn-Ni-Al-Co-Cu-P представляет собой мартенсит, аустенит δ феррит, расположенной по границам бывшего зерна аустенита.

В микроструктуре образца 06-07 наблюдается наименьший размер игл мартенсита, наименьшего зерна аустенита

Вывод.

Произведён расчёт состава порошковой проволоки системы C-Si-Mn-Ni-Al-Co-Cu-P дополнительно легированным титаном, наплавлен металл на подложку из стали 09Г2С, из полученных образцов была изучена микроструктура.

Библиографический список

1. Гусев А.И., Козырев Н.А., Кибко Н.В., Попова М.В., Крюков Р.Е. Изучение структуры и свойств металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni-V-Co // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017. Т.4.– № 2 . - С. 113-119.

2. Разработка порошковой проволоки для наплавки деталей, работающих в условиях износа / Гусев А.И., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Кибко Н.В., Бащенко Л.П.// Известия вузов. Черная металлургия. – 2018. -- т. 61. № 11. – С. 898-906.

3. Влияние введения вольфрама и хрома на свойства металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co / Гусев А.И., Козырев Н.А., Кибко Н.В., Крюков Р.Е., Осетковский И.В // Заготовительные производства в машиностроении. -2019. -Том 17. -№ 2. -С. 56-60.

4. Osetkovsky I.V., Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Usoltsev A.A., Gusev A.I. Development of a wear-resistant flux cored wire of Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V system for deposit welding of mining equipment parts. In: International Scientific and Research Conference on Knowledge-based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources (KTDMUR2017), 6-9 June 2017, Novokuznetsk, Russian Federation. 2017. Vol. 84. P. 1–7.

5. Сравнительный анализ абразивной износостойкости металла, наплавленного порошковыми проволоками систем Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V и Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V / Осетковский И.В., Козырев Н.А., Гусев А.И., Крюков Р.Е., Попова М.В.// Заготовительные производства в машиностроении. -2019. -Том 17. -№ 5. -С. 198-202.

6. Козырев Н.А., Усольцев А.А., Прудников А.Н., Крюков Р.Е.

Козырев Н.А., Прудников А.Н., Крюков Р.Е. Изучение свойств порошковой проволоки на основе пыли газоочистки феррохрома // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 3. С. 365–373.

7. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Уманский А.А., Соколов П.Д. Разработка новых порошковых проволок для наплавки. Порошковые проволоки с использованием углеродфторсодержащих материалов для ремонта прокатных валков // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 1. С. 77–86.

УДК 621.791.042.3

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Полегешко С.А., Казарян Л.А.

**Научные руководители: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.,
канд. техн. наук, доцент Усольцев А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: asaysis3d@gmail.com*

Исследовано влияние введения порошка титана в состав порошковой проволоки на наплавленный слой. Изготовлено 4 варианта составов порошковой проволоки с различным содержанием титана. Проведена наплавка образцов с использованием порошковых проволок изучаемого состава, изучена наплавленная область под металлографическом микроскопом.

Ключевые слова: порошковая проволока, наплавка, микроструктура, химический состав.

Рабочий слой прокатных валков должен обладать высокой прочностью, вязкостью, износостойкостью, теплостойкостью и высокой твердостью. Наиболее полно всем этим свойствам отвечают теплостойкие инструментальные стали высокой твердости, которые сочетают теплостойкость (600 – 700 °С) с высокой твердостью (HRC 63-68) и повышенным сопротивлением пластической деформации.

Таким образом, разработка и применение наплавочных материалов для восстановления прокатных валков является актуальной задачей. Причем в зависимости от конкретных условий работы валков должен разрабатываться материал с определенными доминирующими свойствами. Например, для наплавки рабочего слоя валков горячей прокатки стальных заготовок необходима высокая твердость наплавленного слоя.

Изготовление порошковой проволоки 35В9Х3СФ проводили с использованием следующих порошковых материалов: железо ПЖВ1 по ГОСТ 9849-86, никель ПНК-1Л5 по ГОСТ 9722-97, феррохром ФХ900А по ГОСТ

4757-91, ферромарганец ФМн 78(А) по ГОСТ 4755-91, вольфрам ПВН ТУ 48-19-72-92, феррованадий ФВ50У 0,6 по ГОСТ 27130-94, ферросилиций ФС 75 по ГОСТ1415-93, порошок титана ПТС1 по ТУ14-22-57-92, в качестве углеродсодержащего материала использовали пыль газоочистки алюминиевого производства следующего состава, в мас. %: $Al_2O_3 = 21-46$; $Na_2O = 8-15$; $MgO = 0,06-0,9$; $F = 18-27$; $K_2O = 0,4-6$; $CaO = 0,7-2,3$; $MnO = 0,07-0,9$; $S = 0,09-0,19$; $SiO_2 = 0,5-2,5$; $Fe_2O_3 = 2,1-3,3$; $P = 0,10-0,18$; Собщ = 12,5-30,2.

Наплавка порошковыми проволоками осуществлялась в лаборатории на пластины из стали 09Г2С в четыре слоя под флюсом, изготовленным из шлака производства силикомарганца с использованием сварочного трактора ASAW-1250 на режиме: сила тока $I = 470A$, напряжение $U = 30В$, скорость сварки $V_{св} = 20$ см/мин. Процесс изготовления порошковой проволоки представлен на рисунке 1.

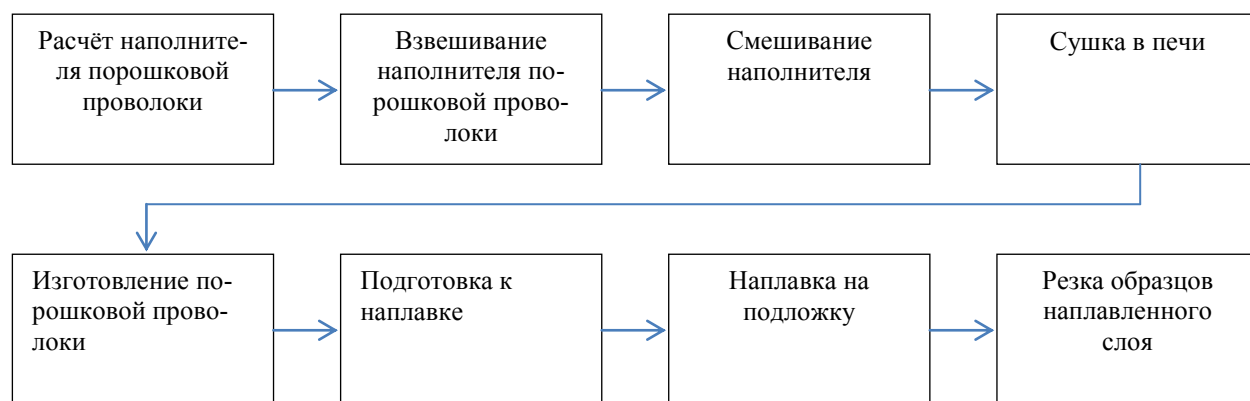


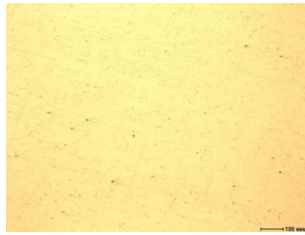
Рисунок 1. Блок схема процесса изготовления порошковой проволоки

Химический состав наплавленного металла результат которого представлен в таблице 1 определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 по ГОСТ 28033 – 89 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71 по ГОСТ Р ИСО 14284-2009.

Таблица 1- Результаты химического состава наплавленных образцов

№ пробы	Массовая доля элементов, %													
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	W	V	Mo	Al	Nb	S	P
01	0,10	0,55	0,84	1,30	0,51	0,09	0,002	5,40	0,12	0,012	0,013	0,003	0,058	0,009
02	0,15	0,56	0,87	1,47	0,56	0,09	0,005	6,03	0,13	0,010	0,012	0,003	0,067	0,010
03	-	0,73	0,92	1,66	0,62	0,06	0,014	7,08	0,16	0,007	0,015	0,004	0,061	0,013
04	0,21	0,82	1,08	1,72	0,61	0,05	0,024	7,16	0,19	0,006	0,007	0,004	0,058	0,011

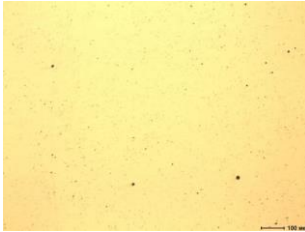
Изучение неметаллических включений проводилось с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 и программного обеспечения SIAMS Photolab после шлифовки и полировки образцов. Ниже представлены фотографии изученных образцов рисунок 2.



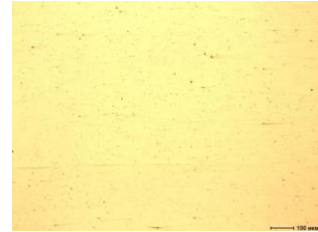
а



б



в



г

а – образец 1 при увеличении x100, б – образец 2 при увеличении x100,
в – образец 3 при увеличении x100, г – образец 4 при увеличении x100,

Рисунок 2 - Неметаллические включения наплавленных слоёв
порошковой проволокой 35В9Х3СФ

Образец 1 Силикаты недеформирующиеся: 1б, 2б; оксиды точечные:
1а, 2а.

Образец 2 Силикаты недеформирующиеся: 2б, 3б; оксиды точечные:
1а, 2а.

Образец 3 Силикаты недеформирующиеся: 2а, 2б, 3б; оксиды точеч-
ные: 1а, 2а.

Образец 4 Силикаты недеформирующиеся: 2б, 3б; оксиды точечные:
1а, 2а, 3а.

Образец 01 Структура Мартенсит, аустенит остаточный, δ – феррит по
границам бывшего зерна аустенита. Балл зерна мартенсита – 9.

Размер игл – 8-9 мкм.

Величина бывшего зерна аустенита – 4 мкм.

Образец 02 Структура Мартенсит, аустенит остаточный, δ – феррит по
границам бывшего зерна аустенита (наблюдается редко).

Балл зерна мартенсита – 7.

Размер игл – 7-12 мкм.

Образец 03 Структура Мартенсит, аустенит остаточный, δ – феррит по
границам бывшего зерна аустенита.

Балл зерна мартенсита – 6.

Размер игл – 5-10 мкм.

Величина бывшего зерна аустенита – 6 мкм.

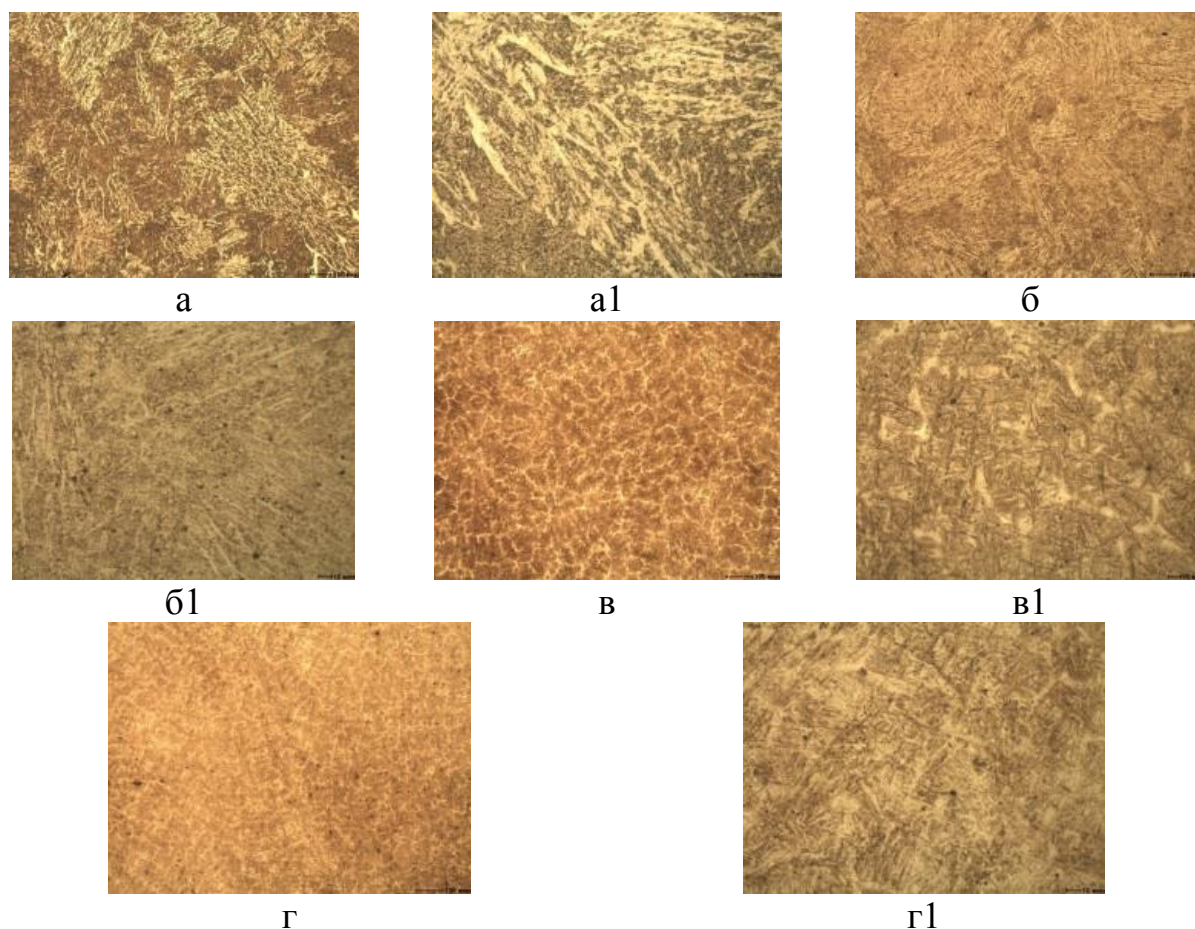
Образец 04 Структура Мартенсит, аустенит остаточный, δ – феррит по
границам бывшего зерна аустенита.

Балл зерна мартенсита – 6.

Размер игл – 6-10 мкм.

В некоторых областях наблюдался мартенсит балла 8, размер игол 8-16.

Величина бывшего зерна аустенита – 4 мкм.



а – образец 01,х200; а1 – образец 01,х500; б – образец 02,х200; б1 – образец 02,х500; в – образец 03,х200; в1 – образец 03,х500; г – образец 04,х200; г1 – образец 04,х500;

Рисунок 3 – Микроструктура наплавленных слоёв порошковой проволокой 35В9Х3СФ

Изучение микроструктуры проводилось с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 и программного обеспечения SIAMS Photolab после травления поверхности образцов в 4 %-ном растворе азотной кислоты на универсальных объективах (10х, 20х, 50х, 100х).

Порошок титана был введён в проволоку с целью уменьшения зерна аустенита.

Вывод: проведен расчёт состава порошковой проволоки 35В9Х3СФ дополнительно легированным титаном. Произведена наплавка металла на подложку из стали 09Г2С. Исследованы химический состав наплавленного металла и микроструктура наплавленного слоя. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что титан не произвёл особого влияния на размер зерна аустенита.

Библиографический список:

1. Гусев А.И., Козырев Н.А., Кибко Н.В., Попова М.В., Крюков Р.Е. Изучение структуры и свойств металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Cr-Mo-Ni-V-Co // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017. Т.4.– № 2 . - С. 113-119.

2. Разработка порошковой проволоки для наплавки деталей, работающих в условиях износа / Гусев А.И., Усольцев А.А., Козырев Н.А., Кибко Н.В., Бащенко Л.П.// Известия вузов. Черная металлургия. – 2018. — т. 61. № 11. – С. 898-906.

3. Влияние введения вольфрама и хрома на свойства металла, наплавленного порошковой проволокой системы Fe-C-Si-Mn-Mo-Ni-V-Co / Гусев А.И., Козырев Н.А., Кибко Н.В., Крюков Р.Е., Осетковский И.В // Заготовительные производства в машиностроении. -2019. -Том 17. -№ 2. -С. 56-60.

4. Osetkovsky I.V., Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Usoltsev A.A., Gusev A.I. Development of a wear-resistant flux cored wire of Fe–C–Si–Mn–Cr–Ni–Mo–V system for deposit welding of mining equipment parts. In: International Scientific and Research Conference on Knowledge-based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources (KTDMUR2017), 6-9 June 2017, Novokuznetsk, Russian Federation. 2017. Vol. 84. P. 1–7.

5. Сравнительный анализ абразивной износостойкости металла, наплавленного порошковыми проволоками систем Fe-C-Si-Mn-Ni-Mo-W-V и Fe-C-Si-Mn-Cr-Ni-Mo-V / Осетковский И.В., Козырев Н.А., Гусев А.И., Крюков Р.Е., Попова М.В.// Заготовительные производства в машиностроении. -2019. -Том 17. -№ 5. -С. 198-202.

6. Козырев Н.А., Усольцев А.А., Прудников А.Н., Крюков Р.Е. Козырев Н.А., Прудников А.Н., Крюков Р.Е. Изучение свойств порошковой проволоки на основе пыли газоочистки феррохрома // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 3. С. 365–373.

7. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Усольцев А.А., Уманский А.А., Соколов П.Д. Разработка новых порошковых проволок для наплавки. Порошковые проволоки с использованием углеродфторсодержащих материалов для ремонта прокатных валков // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 1. С. 77–86.

**ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДОСТИ ОБРАЗЦОВ НА ПОДОШВУ
И ГОЛОВКУ РЕЛЬСОВ Э9ХАФ ПО МЕТОДУ БРИННЕЛЯ
ПОСЛЕ СВАРКИ НА КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ
МАШИНЕ МСР – 63.01А**

Азаренков И.А., Алимарданов П.Э.

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.,
канд. техн. наук, доцент Усольцев А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: azigor.bujhm@yandex.ru*

В данной работе представлены результаты проведенных исследований твердости образцов на подошву и головку рельсов Э9ХАФ рельсовой стали после сварки на контактной стыковой машине МСР – 63.01А. Сварка производилась на производственном режиме сварки образцов. Изучена твердость сварного соединения по методу Бринелля с помощью прессы ПИРС – 400М.

Ключевые слова: сварка, рельсовая сталь, контактная стыковая сварка, машина МСР – 63.01А, пресс ПИРС – 400М, твердость.

На сегодняшний день, актуальным направлением является разработка и оптимизация нового способа контактной стыковой сварки рельсов, позволяющая обеспечить возможность получения бесстыкового железнодорожного пути [1-4].

В производственных условиях изучена твердость рельсовой стали после сварки контактно стыковым способом с помощью машины МС – 63.01А. Химический состав свариваемого образца представлен в таблице 1.

Для определения состава стали производился отбор проб по ГОСТ 7565–81. Из поперечного сечения головки рельса вырезались образцы сечением 40 × 40 мм и толщиной 30 мм. Анализ проб проводился эмиссионным методом по ГОСТ 22536.0 на спектрометре АРЛ-4460.

Таблица 1 – Химический состав образцов, %

Номер стыка	С	Mn	Si	V	Cr	N	P	S	Al
1	0,88	0,95	0,45	0,1	0,4	0,01	0,02	0,01	0,003
2	0,88	0,95	0,45	0,08	0,4	0,02	0,02	0,01	0,003
3	0,87	0,9	0,46	0,08	0,5	0,02	0,01	0,015	0,003
4	0,89	0,9	0,47	0,1	0,5	0,02	0,02	0,015	0,003
5	0,87	0,9	0,46	0,08	0,4	0,01	0,02	0,015	0,004
6	0,88	0,95	0,46	0,09	0,4	0,01	0,01	0,02	0,004
7	0,89	1,25	0,45	0,09	0,5	0,02	0,02	0,02	0,004

Для проведения контактной стыковой сварки вырезались образцы типа Р65 категории ДТ370ИК и ДТ400ИК площадью сечения 83см² и длиной 600

мм, сварка рельсов проводилась по единому заданному режиму. Который соответствует режимам СТО РЖД 1.08.002-2009.

После сварки образцы направлялись на испытание на трёхточечный изгиб. Изучение твердости проводилось с помощью прессы ПИРС – 400М методом статического изгиба, до разрушения сварных стыков. Анализ твердости образцов приведен в таблице 3. Показатели годности образцов устанавливались в соответствии с ТУ 0921-323-01124323-2014 для ДТ370ИК и ТУ 0921-360-01124323-2018 для ДТ400ИК.

Таблица 3 –Твердость образцов

Номер стыка	Тип, категория	Марка стали	Нагружение на*	Стрела, мм	Нагрузка, кН	Результат
1	Р65 ДТ370ИК	Э90ХАФ	Подошву	25,6	2200	Годно
2	Р65 ДТ400ИК	Э90ХАФ	Головку	34,7	2550	Годно
3	Р65 ДТ370ИК	Э90ХАФ	Подошву	37,8	2616	Годно
4	Р65 ДТ370ИК	Э90ХАФ	Подошву	21,3	2100	Годно
5	Р65 ДТ400ИК	Э90ХАФ	Головку	38,5	2658	Годно
6	Р65 ДТ400ИК	Э90ХАФ	Подошву	34,5	2582	Годно
7	Р65 ДТ370ИК	Э90ХАФ	Головку	29,6	2317	Годно

* - при нагружении на подошву, головка в растянутой зоне; при нагружении на подошву, головка в растянутой зоне.



а



б

а - при нагрузке на подошву; б – при нагрузке на головку

Рисунок 1 – Вид излома

Выводы:

1. В результате проведенных исследований контактно-стыковым способом сварки на машине МСР – 63.01А была изучена твердость рельсовой стали Э90ХАФ на прессы для испытаний сварных рельсовых стыков ПИРС-400.
2. Выявлено, что при едином режиме сварки, в зависимости от химического состава, анализ твердости образцов показал разную твердость, которая заметно отличаются друг от друга по разрушению нагрузки и стреле прогиба.
3. Исходя из данных на трех точечный изгиб: на головку рельса стык №5 достиг прочности 2658кН при норме 1800кН, стрела прогиба достигла 38,5

мм при норме в 21мм; на подошву рельса стык №3 достиг прочности 2616кН при норме 2100кН, стрела прогиба достигла 37,8 мм при норме в 25мм.

Библиографический список:

1. Исследование структуры сварного соединения рельсовой стали марки 76ХФ при различных параметрах изотермической выдержки / К. А. Бутакова, А. Н. Гостевская, Р. А. Шевченко, Н. А. Козырев, А. А. Усольцев // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: сборник научных трудов. – Москва; Новокузнецк: СибГИУ, 2018. – Вып. 41.

2. Изучение неметаллических включений, образующихся при контактной стыковой сварке рельсовой стали / Е. В. Полевой, Р. А. Шевченко, Н.А. Козырев, Д. Ю. Кушев, Р.Е. Крюков // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: сборник научных трудов. – Москва; Новокузнецк: СибГИУ, 2018. – Вып. 41. – С. 225-230.

3. Шевченко, Р. А. Совершенствование технологии контактной сварки железнодорожных рельсов / Р. А. Шевченко; науч. рук. Н. А. Козырев // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13-15 июня 2018 г. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2018. – Вып. 22. – Ч. 2: Естественные и технические науки.– С. 218-221.

4. Исследование износостойкости сварного стыка железнодорожных рельсов / Н. А. Козырев, Р. А. Шевченко, А. А. Усольцев, Р. Е. Крюков, А. Р. Михно // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2020. – Т. 76, № 8. - С. 818-825.

УДК 625.143.48

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНТАКТНО-СТЫКОВОЙ СВАРКИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННО-ТЕРМОУПРОЧНЁННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

Бабин Н.С. Полешешко С.А. Казарян Л.А.

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.,
канд. техн. наук, доцент Усольцев А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: nik.babin.2023@mail.ru*

Произведена модернизация конструкции машины МС-20.08, посредством добавления подачи газа аргона. Произведена пробная сварка образцов с использованием защитной среды, изучен образец, сваренный без защитной среды под металлографическим микроскопом.

Ключевые слова: электро-контактная сварка, рельсы, микроструктура,

аргон.

Ежегодно около 30 % изломов рельсов происходит по причине дефектов в сварном соединении. При создании и ремонте бесстыкового железнодорожного пути одной из наиболее применяемых технологий является: электроконтактная сварка.

Требуемая по ГОСТ микроструктура металла рельсов – сорбитообразный перлит. При электроконтактной сварке происходит оплавление кромок металла, при этом жидкий металл контактирует с воздухом. В результате этого, происходит его окисление, при осадке все оксиды с жидким металлом выдавливаются в грат. Так же происходит обеднение металла шва по углероду. И при последующем охлаждении металла образуется структура доэвтектоидной стали. Что приводит к снижению ударной вязкости металла, то есть хрупкости. Таким образом, разработка новых технологий и совершенствование старых является актуальной задачей.

Для эффективной защиты сварочной ванны от кислорода воздуха предлагается внедрить в процесс электроконтактной сварки плавлением подачу инертного газа аргона. Соответствующие изменения уже добавлены в конструкцию машины МС – 20.08 (рисунок 1).

Исследование структуру сварного соединения образца из рельсовой стали без применения защитной атмосферы показали, что в центре шва образовался мартенсит, так как на данном участке скорость охлаждения превышала критическую. В зоне термического влияния мартенсит + перлит, далее следует участок с мелкодисперсным перлитом, участок с зернистым перлитом и основной металл.



Рисунок 1 - Модернизированная машина МС-20.08

Изучение микроструктуры проводилось с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 и программного обеспечения SIAMS Photolab после травления поверхности образцов в 4 %-ном растворе азотной кислоты на универсальных объективах (10x, 20x, 50x, 100x). Микроструктура рельсового металла сварного соединения, полученного без защитной среды представлена на рисунке 2.

Основной металл

Центр сварного шва



× 100

Микроструктура металла сварного соединения полученного
без защитной среды

Основной металл

Центр сварного шва



× 500

Микроструктура металла сварного соединения, полученного
без защитной среды

Рисунок 2 – Микроструктура рельсового металла сварного соединения,
полученного без защитной среды

Вывод: проведена сравнительная сварка рельсовых образцов без защитной среды. Произведена модернизация конструкции машины МС-20.08, из полученного пробного образца произведён микроструктурный анализ сварного шва. Произведена сварка образца на модернизированной машине в среде инертного газа (под аргоном).

Библиографический список

1. Кучук-Яценко С.И. Технология и новое поколение оборудование для контактной сварки высокопрочных рельсов современного производства при строительстве и реконструкции скоростных железнодорожных магистралей / С.И. Кучук-Яценко, В. Г. Кривенко, А.В. Дидковский, В.И. Швец // Автоматическая сварка. – 2012. – № 6.– С. 32 – 37.
2. Современные методы получения бесстыковых рельсов / Н. А. Козырев, А. А. Усольцев, Р. Е. Крюков, Р. А. Шевченко, П. Е. Шишкин // Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении: сборник трудов Международной научно- практической конференции 18-21 апреля 2017 / под ред. А. Н. Смирнова. – Кемерово: КузГТУ, 2017. С 123 – 127.
3. Козырев, Н.А. Железнодорожные рельсы из электростали / Н.А. Козырев, В.В. Павлов, Л.А. Годик, В.П. Дементьев. – Новокузнецк, 2006. – 387 с.
4. Козырев, Н. А. Современные технологии сварки железнодорожных рельсов / Н. А. Козырев, Р. А. Шевченко, А. А. Усольцев, Р. Е. Крюков, С. В. Князев // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации, 2018. – С. 62 – 68.

ДЕФЕКТЫ РЕЛЬСОВ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Буркова А.А., Алимарданов П.Э., Азаренков И.А.

**Научные руководители: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.,
канд. техн. наук, доцент Усольцев А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: annarok2012ya.ru@yandex.ru*

В данной работе представлена классификация дефектов рельсов и установлены причины их возникновения. Классификация и каталог дефектов рельсов предназначены для правильного определения кода дефектов в рельсах, основной причины их появления и развития, а также для принятия мер по безопасной эксплуатации рельсов, для статистического учета поврежденных рельсов, анализа уровня эксплуатационной стойкости и надежности рельсов.

Ключевые слова: рельсы, дефекты, классификация, причины.

Главные показатели эксплуатации дорог, от которых в наибольшей степени зависит выход рельсов по изломам и другим дефектам, — число тонн груза брутто, перевезенного по рельсам, нагрузка на ось подвижного состава, скорость движения поездов. Выход рельсов по дефектам и изломам зависит и от времени года: минимальным он бывает летом, осенью всегда повышается, зимой достигает максимума, что связано с повышением хрупкости металла рельсов при понижении температуры. Максимальный выход рельсов по дефектам приходится на месяцы наименьших температур. Вторым максимум выхода рельсов падает на март в европейской части РФ и на апрель на дорогах Востока и Сибири. Он совпадает со временем оттаивания балласта и обусловлен весенним расстройством пути. В зависимости от плана и профиля пути наибольший выход рельсов по дефектам на спусках, подъемах и на кривых участках. Причины возникновения изломов и дефектов в рельсах, лежащих в пути, весьма разнообразны. Длительные наблюдения и изучение условий работы рельсов позволили установить некоторые общие причины, которые можно разделить на две группы: эксплуатационные (например, неудовлетворительное состояние пути и подвижного состава) и заводские (дефекты при изготовлении рельсов). Неудовлетворительное состояние пути и подвижного состава способствует ускорению выхода рельсов по заводским причинам. Рассмотрим наиболее часто встречающиеся дефекты и повреждения рельсов и причины их образования и развития.

1. Отслоение и выкрашивание металла на поверхности катания головки рельса, появляются обычно при нарушении технологии изготовления рельсов. Эти дефекты, не замеченные при приемке рельсов на заводе, приводят к образованию отслоений и выкрашиваний металла на поверхности катания после того, как по рельсам начинает обращаться подвижной состав. Такие повреждения рельсов хорошо выявляются при обычном (визуальном) осмотре.

2. Выкрашивание и отслоение металла на поверхности катания в закаленном слое головки рельса возникают и развиваются из-за неудовлетворительного качества закалки рельсов. Часто в закаленном слое образуются участки со структурой металла, обладающей большой твердостью и хрупкостью, или местные неравномерные переходы по твердости от закаленного к незакаленному металлу. При воздействии колес подвижного состава на рельсы в этих местах происходит выкрашивание и отслоение слоя. Такие дефекты выявляются внешним осмотром и ультразвуковыми дефектоскопами.

3. Выкрашивание металла на боковой рабочей выкружке головки рельса происходит в основном из-за недостаточной контактной прочности рельса при загрязненности металла неметаллическими включениями, вытянутыми вдоль направления прокатки в виде дорожек, расположенных на глубине 3 – 8,5 мм от поверхности катания. В процессе службы рельсов верхний слой металла над трещиной претерпевает перенаклеп и выкрашивается. Этот дефект чаще всего обнаруживается на рабочей грани рельсов наружных нитей в кривых участках пути. В начальной стадии развития такие дефекты могут быть выявлены ультразвуковым дефектоскопом, в более поздней стадии развития – визуально.

4. Выбоковины и закалочные трещины в местах боксования образуются на рельсах, расположенных перед входными сигналами на станционных путях, особенно у водонаборных колонок, на тормозных участках пути и т. п. При резком торможении или трогании с места колеса локомотивов и вагонов с большой силой трутся о рельс. При ударном воздействии колес, особенно при низких температурах, рельсы с такими дефектами легко ломаются. Этот вид дефектов выявляется при внешнем осмотре.

5. Поперечные трещины усталости в головке (светлые или темные пятна) и изломы из-за них – наиболее опасный дефект контактно-усталостного происхождения. Возникает и развивается внутри головки рельса без каких-либо внешних признаков. Даже тогда, когда эта трещина выходит на поверхность, заметить ее почти невозможно из-за чрезвычайно малого раскрытия.

6. Вертикальное расслоение головки и шейки рельса — одна из групп опасных дефектов. Они чаще всего возникают в средней части головки в любом месте по длине рельса. Подобные трещины нередко обнаруживаются в шейке рельса. Основные причины вертикального расслоения головки и шейки – остатки усадочной раковины в рельсе, неметаллические включения и скопления примесей серы и фосфора. Этот дефект сравнительно легко обнаруживается визуально по темной полосе поверхности катания.

7. Косые или продольные трещины в шейке от болтовых и других отверстий, образуются в том случае, когда стык — наименее прочная часть рельсовой нити – подвергается наибольшим воздействиям, вызываемым ударами колес при проходе стыковых зазоров. На участках пути, где рельсовые стыки содержатся плохо (толчки, выплески, провисают концы рельсов, ненормальные стыковые зазоры, лопнувшие накладки, неплотная затяжка гаек у стыковых болтов и т. п.), напряжения в стыковых частях рельсов в не-

сколько раз больше, чем в хорошо содержащихся стыках. Особенно высокое напряжение возникает на кромках болтовых отверстий.

8. Волосовины в подошве, трещины и выколы части подошвы – один из распространенных и опасных дефектов. Продольные трещины в подошве часто приводят к выколу подошвы рельса или внезапному хрупкому его излому при движении поезда. Хрупкие изломы рельсов происходят вблизи шпалы у края подкладки, а выколы подошвы – обычно на шпале.

9. Закалочные трещины возникают в основном в головке рельсов из-за нарушения технологии закалки. Выявить такие трещины можно только магнитными дефектоскопами. Выход рельсов из-за закалочных трещин происходит в первые годы службы, особенно зимой и весной.

10. Трещины в головке из-за приварки рельсовых соединителей возникают и развиваются из-за неправильно выполненных сварочных работ. В местах приварки образуются небольшие сварочные трещины, которые впоследствии развиваются в поперечные, а иногда в продольные, приводящие к излому или отколам головки рельсов. Выявляются такие трещины ультразвуковыми дефектоскопами и при внешнем осмотре рельсовых стыков.

11. Коррозионно-усталостные трещины в подошве рельса – новый и весьма опасный дефект. Вид повреждения возникает и развивается на участках пути с отдельным скреплением в местах, где между подкладкой и подошвой рельса уложены прокладки, обладающие большой влагоемкостью, например деревянные. Опасность таких трещин особенно велика, так как они находятся в растянутой зоне, что приводит к излому рельса даже при небольших по площади трещинах. Коррозионно-усталостные поперечные трещины, расположенные в подошве под шейкой, могут быть выявлены при ультразвуковом контроле рельсов.

12. Трещины в сварных стыках возникают из-за наличия в сварных соединениях силикатных включений, пузырей, рыхлостей, кратерных усадок и неудовлетворительной обработки сварного шва. При эксплуатации сварных стыков в пути под воздействием знакопеременных нагрузок наиболее часто развиваются поперечные трещины в головке, косые и продольные трещины в шейке и трещины в подошве. Контролируют сварные стыки на рельсосварочных предприятиях и в пути ультразвуковыми дефектоскопами.

Классификация дефектов. Все дефекты в зависимости от их типа, расположения по сечению рельса, основных причин их происхождения и места расположения по длине рельса имеют свой цифровой код. Поврежденные рельсы в зависимости от степени опасности дефектов подразделяются на два вида: острodefектные (ОДР) и дефектные (ДР).

К острodefектным (ОДР) рельсам относят рельсы с изломами, выколами и трещинами, которые могут привести к внезапным разрушениям. Острodefектные рельсы непосредственно угрожают безопасности движения поездов из-за непредсказуемости последствий разрушений рельсов и поэтому требуют изъятия их из пути после обнаружения дефекта без промедления в соответствии с установленным порядком. Дефектные рельсы, как правило,

не препятствуют пропуску поездов, но при достижении определенных параметров дефектов требуют ограничения скоростей движения поездов. В связи с возможностью визуального наблюдения за развитием этих дефектов, изменение их размеров в большинстве случаев можно прогнозировать. В зависимости от категории пути, типа и степени развития дефектов на поверхности катания головки, на шейке или подошве для дефектных рельсов устанавливается соответствующий порядок их изъятия из пути от замены в плановом порядке до замены в первоочередном порядке. По дефектным рельсам на срок до устранения дефекта или замены дефектных рельсов при достижении определенных параметров дефектов устанавливаются ограничения скорости движения поездов с учетом конкретных условий состояния пути.

Все дефекты рельсов в классификации кодированы трехзначным числом. Использована следующая структура кодового обозначения:

- *первая цифра кода* определяет группу дефектов по месту появления дефекта по элементам сечения рельса (головка, шейка, подошва, всё сечение);
- *вторая цифра* определяет тип дефекта рельсов с учетом основной причины его зарождения и развития;
- *третья цифра* указывает на место расположения дефекта по длине рельса.

Первые две цифры кода дефектов рельсов отделяются от третьей цифры точкой.

Также есть деление на категории – по степени развития:

Они регламентированы НТД/ЦП 1-93 и НТД/ЦП-2-2002, то есть нормативно-технической документацией, определяющей типы повреждений, причины их возникновения, средства диагностики и методы устранения:

- ДП или ОД (остро дефектные рельсы) – ситуация критическая, срочно нужно проводить замену. Уже несут непосредственную угрозу безопасности движения транспорта. Могут спровоцировать сход локомотива или вагона с пути или разрушение линии под колесами подвижного состава. Нужна срочная замена элементов – на новые или с резерва;

- Д1, Д2 – требуется устранение дефектов в порядке планового обслуживания ЖД-полотна с учетом прогнозируемой интенсивности развития размеров повреждения;

- Д3 – изъяны пока небольшие, с выполнением ремонта можно поправить.

Указанные ранее документы также регламентируют максимальную скорость движения по проблемному ЖД-полотну разных групп:

- ДП – до 40 км/ч,
- Д1 – до 70,
- Д2 – до 100,
- Д3 – без ограничений.

Чем существеннее сложность, тем быстрее нужно ремонтировать или менять металлоконструкцию.

В категорию ОД входят прокатные изделия со следующими кодами:

- 20, 21, 24, 25 – трещины в головке;
- 50, 53, 55, 56, 59 – повреждения в шейке;
- 60, 64, 65, 66 – выколы подошвы, коррозионная усталость, поперечные изломы.

Выводы:

1. Проведена классификация дефектов рельсов и установлены причины их возникновения.
2. Выявлены часто встречающиеся дефекты и повреждения рельсов и причины их образования и развития.

Библиографический список

1. Кузнецов В.В., Лысюк В.С. Причины и механизм контактно-усталостных отказов рельсов Р65. Вестник ВНИИЖТ, 2000, №6.
2. Лысюк В.С., Бугаенко В.М. Повреждения рельсов и их диагностика. М. 2006.
3. Иванов П.С., Конов Ю.В., Зайцев Н.И., Филиппов А.И. Дефекты в рельсах, причины зарождения и развитие, классификация. Труды XVI Российского научно-технической конференции «Диагностика и неразрушающий контроль», С.Петербург. 2002.
4. Певзнер В.О. Природа дефектов в рельсах. Газета «Гудок» .2003.
5. Фришман М.А. Конструкция железнодорожного пути и его содержание. М. Транспорт. 1987.

УДК 669.184

**АНАЛИЗ ТЕПЛОЙ РАБОТЫ КИСЛОРОДНОГО КОНВЕРТЕРА
ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛИ**

**Дида Н.И., Рябинин А.С., Лопатина А.О., Чернова А.А.
Научный руководитель: Сафонов С.О.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: nikitadida@gmail.com , raybininas@mail.ru,
olegovvna@bk.ru, Idctm@mail.ru*

Проведен анализ тепловой работы конвертерных процессов, приведены тепловые эффекты реакций окисления элементов передельного чугуна, описано влияние насыпной массы металлолома на тепловую сторону процесса.

Ключевые слова: дутье, конвертер, окисление, металлолом, тепловой эффект, продукты окисления.

Традиционный конвертерный процесс предполагает поступление теплоты с жидким чугуном и окислением примесей металлошихты. Существуют технологии, использующие дополнительные источники теплоты, которые будут рассмотрены отдельно.

Тепловой эффект от окисления элементов, растворенным в железе кислородом, представлен в таблице 1.

Продукты окисления кремния и фосфора ошлаковываются оксидом кальция, а марганца и железа - кремнеземом, что сопровождается выделением дополнительного количества теплоты [1].

Возрастание температуры ванны при окислении 1 % элемента, учитывающее и потери теплоты, выделяющейся при окислении элементов, с дымовыми газами или использованием извести для ошлакования продуктов окисления, приведен для разных конвертерных процессов в таблице 2.

Таблица 1 - Тепловой эффект окисления элементов кислородом (кДж/кг)

Элемент	Без ошлакования		С ошлакованием	
	1200°С	1600°С	1200°С	1600°С
Si	26,0	25,4	30,7	27,9
Mn	6,4	6,3	6,9	6,6
Fe	4,1	4,0	4,5	4,2
C → Co	11,3	11,1	-	-
C → Co ₂	33,1	32,0	-	-
P	19,8	16,5	25,8	23,4

Принимая во внимание, что концентрация углерода в чугуна составляет 3,5 - 4,5 %, можно прийти к выводу о ведущей роли углерода в тепловом балансе основного конвертера с кислородным дутьем.

Для передельных чугунов имеет значение также влияние кремния, а для фосфористых - фосфора.

Обычно количество теплоты, выделяющейся при конвертерном процессе, больше, чем необходимо для нагрева ванны до заданной температуры. Поэтому для использования излишков теплоты в ванну вводят охладители - оборотный лом, железо прямого восстановления, железную руду, известняк. Их охлаждающая способность в снижении температуры ванны при добавлении 1 % материала от массы стали дана в таблице 3.

Таблица 2 - Увеличение температуры ванны при окислении 1 % элемента, °С

Элемент	Кислородное дутье, основной процесс	Воздушное дутье, кислый процесс	Воздушное дутье, основной процесс
Si	200	180	150
Mn	50	50	40
Fe	30	27	22
C	104	45	35
P	160	-	85

Удельная значимость составляющих статического теплового баланса, учитывающего в целом за плавку приход и расход теплоты, для различных конвертерных процессов приведена в таблице 4.

В основных процессах необходимость формирования шлака сопровождается увеличением на это расхода теплоты в 3-4 раза. В настоящее время в Японии разрабатывается технология конвертерного процесса, предпо-

лагающая проведение десульфурации и дефосфорации вне конвертера и отказ, в связи с этим, от формирования шлака.

Шихтовка конвертерной плавки, в частности выбор соотношения жидкого чугуна и металлолома, должна обеспечить в конце продувки необходимую температуру стали.

Не менее важным является динамический тепловой баланс, который предполагает согласование поступления и расходования теплоты по отдельным периодам плавки [2].

Таблица 3 - Охлаждающая способность материалов, °С/ 1 % от массы стали

Материал	Снижение температуры, °С
Стальной лом	9
Железная руда	40
Известняк	39
Известь	16

Таблица 4 - Составляющие теплового баланса конвертерных процессов, %

Составляющие балан-са	Верхнее кислород-ное дутье	Донное кис-лородное дутье	Донное воздуш-ное дутье, кислый процесс	Донное воздуш-ное дутье, основной процесс	Боковое воздуш-ное дутье, кислый процесс
Поступление теплоты					
1. Физическая теплота чугуна	50	50	46	39	32
2. Окисление примесей					
Потери теплоты	50	50	54	61	68
1. Физическая теплота стали					
Газа	66	66	61	52	39
Шлаков	20	18	7	21	5
2. Потери теплоты	10	12	28	24	43
	4	4	4	3	13

В начальный период продувки передельных чугунов основное поступление теплоты обеспечивает окисление кремния и температура изменяется по линии 1 (рисунок 1). Если металлолом низкой насыпной плотности и состоит из кусков металла небольшой толщины, то последние быстро прогреваются, а ванна значительно охлаждается (линия 2).

Наконец температуры, определяемой статическим тепловым балансом, это не сказывается, но практически вся продувка проходит при более низкой температуре. В связи с этим углерод начинает интенсивно окисляться позже, чем обычно, что приводит к повышенным затратам вдуваемого кислорода на окисление железа, повышает окисленность конвертерного шлака и опасность возникновения выбросов во второй половине продувки. Положе-

ние усложняется в связи с тем, что при низкой насыпной плотности лома он занимает значительную часть внутреннего пространства конвертеров. Это не позволяет оператору опустить фурму в номинальное положение после окончания начального периода из-за опасения прожечь наконечник каплями жидкого металла, разбрызгиваемого кислородными струями, ударяющимися о поверхность нагретого лома и вызывающими его горение [3].

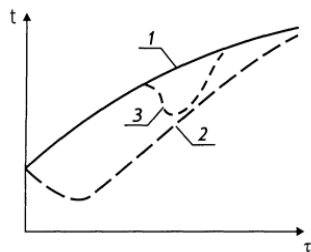


Рисунок 1 - Температурный режим продувки предельных чугунов

После начала интенсивного окисления углерода переокисленный шлак интенсивно пенится и начинаются его выбросы через горловину конвертера. Для прекращения выбросов приходится останавливать продувку и скачивать вспененный шлак, что сопровождается удлинением продувки на 5-7 мин. и потерями выхода годной жидкой стали в виде оксидов железа скачиваемого шлака и содержащихся в нем королек металла [4].

Уменьшить отрицательные последствия, вызванные использованием лома низкой насыпной плотности, можно, снизив удельную интенсивность продувки и уменьшив тем самым массу окислившегося железа до наступления интенсивного окисления углерода.

Структура тепловых балансов конвертерных плавок в зависимости от состава футеровки и состава продувочного газа меняется, при продувке чугуна воздухом статьи расхода тепла на шлак возрастают, а на физическое тепло стали снижаются.

Библиографический список

1. Анализ энергосберегающих технологий выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи / С.О. Сафонов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2020. – С. 273 – 276.
2. Технологии интенсификации кислородно-конвертерного процесса / С.О. Сафонов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2021. – С. 177-180.
3. Изучение влияния (положения, интенсивности) фурмы на параметры реакционной зоны / В.С. Фадеев, С.О. Сафонов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2021. – С. 193-196.
4. Конвертерное производство стали. / Б.М. Бойченко - Днепропетровск: Металлургия, 2006. - 453 с.

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ ОБРАЗЦОВ С КОНЦЕНТРАТОРОМ НАПРЯЖЕНИЙ

Серегина А.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Селиверстов Г.В.

*Тульский государственный университет,
г. Тула, e-mail: seregina.ann-1998@mail.ru*

Рассмотрена взаимосвязь изменения напряжено-деформированного состояния образцов с фиксированным концентратором напряжений при статическом деформировании и температурных полей вызванных диссипацией. Проанализирована возможность применения данного подхода для практического определения напряжений в элементах металлоконструкций.

Ключевые слова: эксплуатация, срок службы, металлоконструкция, дефект, тензометрирование.

Анализ состояния парка грузоподъемных машин в России показывает, что большая часть из используемого оборудования уже выработала свой нормативный срок службы. В крановых металлоконструкциях обычно используют листовой прокат из сталей Ст3сп5 и 09Г2С. Большая часть методов и средств контроля позволяет обнаруживать подобные дефекты, но при этом для безопасной эксплуатации грузоподъемной машины необходимо знать ресурс до возникновения подобного дефекта [2]. Определения наработки машины можно выполнять расчетными методами. При проектировании металлоконструкций закладываются нагрузки и подбираются под них геометрические размеры сечения для обеспечения амплитуд напряжений меньших. Работа всей металлоконструкции должна проходить исключительно в упругой области деформаций материала. Как показывает эксплуатация подобных кранов, усталость все равно наблюдается в зонах с повышенной концентрации напряжений. В работах [5] показана возможность оценки напряженно-деформированного состояния с помощью метода тепловидения. Авторами проведены исследования при статическом нагружении гладких лабораторных образцов, и они показали, что при их деформации резкий скачок температуры наблюдается при переходе от упругой деформации к пластическому течению. При этом напряжения распределялись равномерно по всему сечению образца. В реальных металлоконструкциях, наибольшую опасность представляют места не только с высоким значением амплитуд напряжений, но и с концентрациями напряжений. Таким образом, возник вопрос об исследовании изменений температурных полей вблизи концентраторов напряжений в связи с наличием упругопластической деформации исследуемой области. Для проведения исследования были подготовлены лабораторные образцы из сталей Ст3сп5 и 09Г2С с трещиноподобным дефектом (рисунок 1).

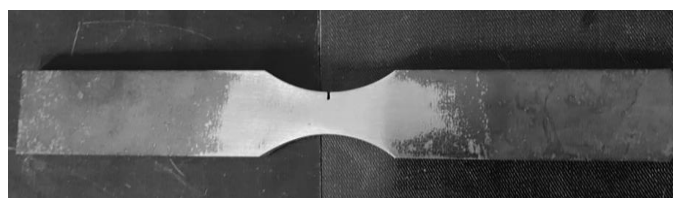


Рисунок 1 - Лабораторный образец из стали Ст3сп5

Анализ концентрации напряжений выполнялся в САПР SolidWork. Конечно-элементная модель показана на рисунке 2.

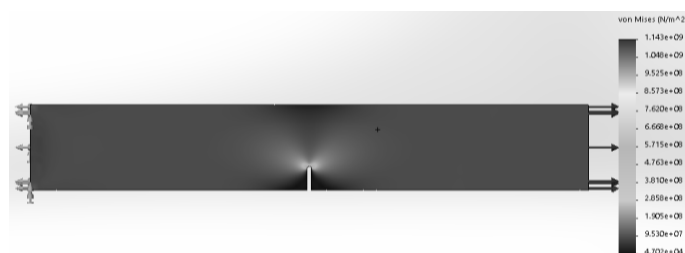


Рисунок 2 - Конечно-элементная модель образца с концентратором

В результате анализа был определен теоретический коэффициент концентрации напряжений, значение которого составило 8,57.

На разрывной машине Р-20 было проведено пошаговое статическое нагружение лабораторных образцов с одновременным замером изменения температуры вблизи зоны концентрации напряжений. На рисунке 3 показана термограмма образца из стали Ст3сп5 в момент разрушения.



Рисунок 3 - Термограмма образца из стали Ст3сп5 в момент разрушения

Итоговые результаты представлены в виде таблиц 1, 2.

Таблица 1 - Температурные поля для исследуемых образцов из Ст3сп5

σ , МПа	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420
T, °C	15,1	15,2	15,6	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,8	16,2	16,3	16,4	17,0	18,1
ΔT , °C	0	0,1	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	1,1	1,2	1,3	1,9	3

Таблица 2 - Температурные поля для исследуемых образцов из 09Г2С

σ , МПа	0	43,7	87,4	131,1	174,5	218,2	261,9	305,6	349,3	393	436,7	480
T, °C	15,3	15,5	15,7	15,7	15,7	16,3	17,0	17,5	17,7	17,8	17,9	18,3
ΔT , °C	0	0,2	0,4	0,4	0,4	1	1,7	2,2	2,4	2,5	2,6	3

Графически данные таблиц представлены на рисунках 4 и 5.

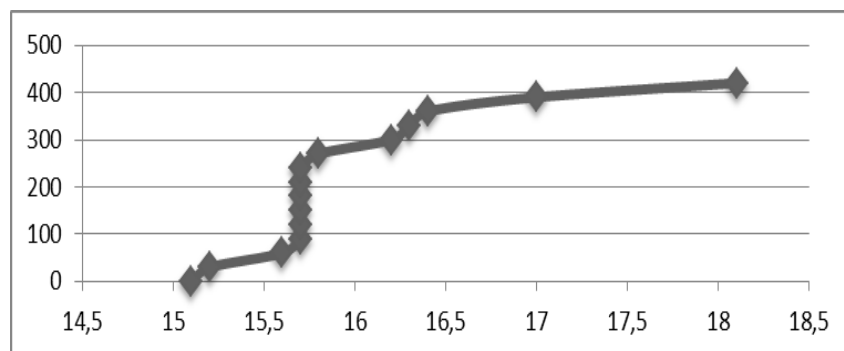


Рисунок 4 - Изменение температуры при нагружении образца из Ст3сп5

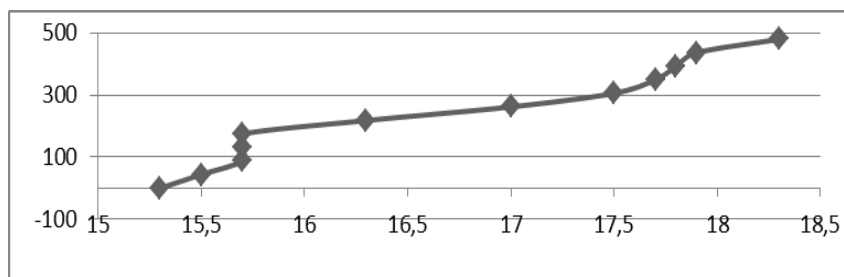


Рисунок 5 - Изменение температуры при нагружении образца из 09Г2С

Анализируя полученные данные можно сделать вывод о наличии двух переходных моментов. Первый связан с началом роста упругой деформации на начальном этапе нагружения. Второй – момент перехода от упругих деформаций к пластическому течению.

С практической точки зрения наибольший интерес представляет именно второй этап, так как наличие пластических деформаций в несущих металлоконструкциях кранов не допускается. Рассматривая второй этап для обеих сталей была проведена аппроксимация следующими функциями:

$$\sigma = 108,78 \ln(\Delta T) + 310,12; \quad (1)$$

$$\sigma = -188,82 \Delta T^2 + 1211,9 \Delta T - 1453,8. \quad (2)$$

Зависимость (1) и (2) позволяет рассчитать по изменению температурного поля величину действующих напряжений при наличии пластического течения сталей Ст3сп5 и 09Г2С.

Практическое применение зависимостей 1 и 2 возможно для анализа напряженно-деформированного состояния локальных мест исследуемой металлоконструкции.

Библиографический список

1. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов. – М.: Металлургия, 1975. – 456 с.

2. Серегина А.А. Оценка напряженно-деформированного состояния элементов металлоконструкций по изменению тепловых полей // Молодёжный вестник Политехнического института: сб. статей в 2 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2020. Ч.1. С. 233-237.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА
ПРИ РАЗРАБОТКЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ПЛАЗМОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА
НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ДИБОРИДА ХРОМА**

Лепихов В.С.

**Научные руководители: д-р техн. наук, профессор Ноздрин И.В.,
канд. техн. наук, доцент Ширяева Л.С.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru*

С привлечением метода математического планирования эксперимента исследован процесс плазмометаллургического получения нанодисперсного порошка диборида хрома из хрома, хлорида и оксида хрома. Разработана математическая модель – «цифровой двойник», позволяющая оптимизировать технологический процесс синтеза и обеспечивающая получение продуктов дисперсностью 42-74 нм с содержанием целевого компонента 92-93,5 %.

Ключевые слова: плазмометаллургический реактор, диборид хрома, нанодисперсные порошки, метод планируемого эксперимента, цифровой двойник.

Плазменный синтез представляет собой сложный для исследования металлургический процесс. Это обусловлено его быстротечностью, высокими температурами и малым объёмом реакционной зоны. В подобных условиях весьма перспективным представляется модельно-математический подход, предполагающий проведение экспериментального исследования с привлечением метода планируемого эксперимента [1-3]. По результатам исследований можно найти зависимость содержания в продуктах синтеза диборида хрома и примесей от основных технологических факторов [4]. Полученные экспериментальные зависимости позволяют создать математическую модель («цифровой двойник») и алгоритм управления технологическим процессом, обеспечивающий достижение требуемых параметров нанодисперсного диборида хрома за счет изменения значимых параметров синтеза.

Полученные результаты в целом подтверждают основные выводы, вытекающие из их термодинамического и кинетического анализов. Оптимальные значения технологических факторов и допустимые пределы их изменения, а также основные характеристики синтезируемого при этих условиях диборида хрома, полученные при пятикратном дублировании опытов, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Допустимые пределы изменения параметров синтеза диборида хрома в плазменном реакторе мощностью 150 кВт и его основные характеристики

Параметры синтеза и характеристики диборида хрома	Технологические варианты синтеза		
	1 (Cr+B+H ₂)	2 (CrCl ₃ +B+H ₂)	3 (Cr ₂ O ₃ +B+CH ₄ +H ₂)
Состав газа-теплоносителя, % об.			
- азот	74,0	74,0	74,0
- водород	25,0	25,0	25,0
- природный газ (метан)	1,0	1,0	1,0
Химический состав хром-борсодержащего сырья, % масс., (его крупность, мкм)	98,3 (2-10)		
- хром металлический марки ПХ1М		99,0 (0,5-13)	
- трихлорид хрома (ТУ 6-09-02-269-97, изм.)	99,0 (0,25-0,40)	99,0 (0,25-0,4)	99,0 (1-3)
- оксид хрома марки ОХМ-0			99,0 (0,25-0,40)
- бор аморфный марки В-99			
Количество бора в порошкообразной шихте, % от стехиометрического	100 – 120	100 – 120	100 – 120
Количество восстановителя (метана), % от стехиометрического	–	–	100 – 120
Производительность по сырью, кг/ч	3,56	4,04	3,56
Начальная температура плазменного потока, К	н.м. 5400	н.м. 5400	н.м. 5400
Температура закалки, К	2600 – 2800	2600 – 2800	2600 – 2800
Фазовый состав	CrB ₂	CrB ₂	CrB ₂
Химический состав, % масс.			
- CrB ₂	92,00 – 93,00	91,45 – 93,00	92,60 – 93,50
- бор свободный	1,27 – 1,05	0,49 – 0,38	0,45 – 0,40
- хром свободный	2,10 – 1,55	–	–
- углерод общий	–	–	2,33 – 1,72
- дихлорид хрома	–	0,74 – 0,85	–
- оксид хрома	–	–	1,00 – 0,86
- хлороводород	–	2,72 – 2,49	–
- кислород	3,28 – 3,07	3,12 – 2,76	1,95 – 1,80
- азот	0,95 – 0,57	0,82 – 0,72	0,85 – 0,90
- летучие	0,50 – 0,76	0,66 – 0,50	0,90 – 0,83
Выход диборида хрома, % масс.	91,0 – 92,0	91,0 – 92,0	91,0 – 92,0
Производительность, кг/ч	3,00	1,60	2,40
Интенсивность, кг/ч·м ³	1364	727	1091
Удельная поверхность, м ² /кг	33000 – 35000	18000 – 19000	32000 – 34000
Средний размер частиц, нм	42,0	74,0	71,0
Форма частиц	Шаровидная	Шаровидная	Шаровидная
Окисленность* нанопорошка диборида хрома×10 ⁷ , кг кислорода / м ² удельной поверхности	9,03 – 9,65	14,50 – 16,40	5,45 – 5,90

* Определялась после выдержки нанопорошков на воздухе в течение 24 ч.

Сравнение полученных результатов позволяет выделить следующие общие закономерности и некоторые особенности исследованных технологических вариантов:

1. Во всех вариантах единственной боридной базой является диборид

CrB_2 , причем содержание его составляет, % масс.: 92,00 – 93,00 (1), 91,45 – 92,30 (2), 92,60 – 93,50 (3).

2. Лимитирующей стадией исследуемых процессов является испарение порошкообразной шихты.

3. Температура закалки практически не влияет на содержание диборида хрома в получаемых материалах, что объясняется малым временем пребывания продуктов синтеза в реакторе (8 – 10 мс), недостаточным для взаимодействия образовавшегося CrB_2 с плазмообразующим газом.

4. Введение в плазмообразующий газ водорода повышает содержание CrB_2 в продуктах синтеза, что подтверждает результаты термодинамического анализа о возможной газификации бора и участии борводородов в образовании диборида хрома.

5. Продукты синтеза получены в виде нанодисперсных порошков, имеющих шаровидную форму частиц, что, по-видимому, связано с единым для всех исследуемых процессов механизмом формирования дисперсной фазы, реализуемым по схеме «пар – расплав – кристалл».

На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований разработаны «цифровой двойник» - параметры оптимальной модели синтеза нанокристаллического диборида хрома, и алгоритм управления технологическим процессом - компьютерная программа «Обобщённая модель боридообразования при плазменном синтезе» [5], предназначенная для проведения многовариантных инженерных и исследовательских расчётов содержания в продуктах синтеза боридов хрома и основных примесей, уровня их дисперсности в зависимости от основных технологических параметров. Изменяемыми параметрами синтеза являются: начальная температура плазменного потока, температура закалки продуктов синтеза, количество восстановителя, концентрации водорода и атомарного азота в плазмообразующем газе.

Библиографический список

1. Цымбал, В.П. Математическое моделирование сложных систем в металлургии : учебник для вузов / В.П. Цымбал. – Кемерово, М. : Издат. объединение «Российские университеты», Кузбассвузиздат. – АСТШ, 2006. – 431 с.

2. Plasma chemical reactor based on a low pressure pulsed arc discharge for synthesis of nanopowders / Karpov I.V., Ushakov A.V., Lepeshev A.A., Fedorov L.Y. // Technical Physics. The Russian Journal of Applied Physics. 2017. Т. 62. № 1. С. 168-173.

3. Rudneva, V.V. Effective Processing of Disperse Raw Materials in a Plasma Reactor / V.V. Rudneva, G.V. Galevskii, E.K. Yurkova // Steel in Translation. – 2007. – Vol. 37. – № 2. – Pp. 115 – 118.

4. Ноздрин, И.В. Модельно-математическое исследование условий эффективной переработки хромсодержащего сырья в плазменном реакторе / И.В. Ноздрин, В.В. Руднева, Л.С. Ширяева, М.А. Терентьева // Изв. вузов. Чёрная металлургия. – 2012. – № 2. – С. 13 – 18.

5. Свидетельство № 18396 о регистрации электронного ресурса «Программа «Обобщенная модель боридообразования при плазменном синтезе» версия 1.0.2» в объединенном фонде электронных ресурсов «Наука и образование» РАО / Л.С. Ширяева, И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева. – М.: ИНИПИ, 2012.

УДК 661.655,685

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОДИСПЕРСНОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ – УПРОЧНЯЮЩЕЙ ФАЗЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ И ХРОМА

Безрукова Е.С.

**Научные руководители: канд. техн. наук, доцент Полях О.А.,
д-р техн. наук, профессор Ноздрин И.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru*

В работе рассмотрены вопросы термодинамического взаимодействия компонентов системы Si – C – O – N – H и кинетики испарения микрокремнезема. По результатам исследований определены основные технологические параметры синтеза нанодисперсного порошка карбида кремния – упрочняющей фазы композиционных материалов на основе электроосаждаемого никеля и хрома.

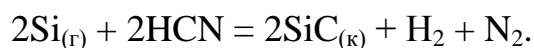
Ключевые слова: карбид кремния, микрокремнезем, нанодисперсные порошки, плазменная электропечь, композиционные электрохимические покрытия.

Высокие физико-химические характеристики карбида кремния определяют возможность его применения в качестве упрочняющего компонента (второй фазы) электроосаждаемых композиционных материалов, в частности, на основе никеля и хрома. Формируемые на поверхности деталей и изделий защитные микрослои никель (хром) – карбид кремния отличаются повышенной твердостью и прочностью, износостойкостью, коррозионной, эрозивной и термической устойчивостью. Однако практикуемое в настоящее время использование в качестве второй фазы композиционных материалов микропорошков карбида кремния абразивного назначения не позволяет достичь максимума эксплуатационных характеристик защитных микрослоев и реализовать целый ряд технологических преимуществ метода их формирования. Это свидетельствует о необходимости направленного синтеза карбида кремния для технологии композиционного упрочнения со специальным комплексом свойств: повышенной дисперсностью; ограниченным содержанием примесей, особенно свободного углерода (н.б. 1% масс.); высокой коррозионной и термоокислительной устойчивостью.

В настоящей работе представлены результаты теоретических исследований и технологического освоения производства карбида кремния композиционного назначения восстановлением кремнезема углеводородами в плазменном потоке азота; оценена эффективность использования синтезированного ультрадисперсного порошка в качестве упрочняющего компонента осаждаемых композиционных материалов на основе никеля и хрома.

Освоение плазменного способа получения карбида кремния композиционного назначения включало в себя изучение теоретических основ процесса, необходимых для поиска управляющих воздействий и прогнозирования оптимальных условий синтеза. Объектом исследования являлась идеальная система Si – C – O – N – H, не учитывающая наличие посторонних примесей в кремнеземе, восстановителе и плазмообразующем газе.

Равновесные составы возможных компонентов анализируемой системы рассчитывались на основе термодинамических данных из [1-4], при соотношении Si : C : O : H : N - 1 : 3 : 2 : 20 : 60, общем давлении 0.1 МПа, для температур 500...5900 К с интервалом в 300 К, по методике, описанной в [5]. Установлено, что в данной системе конденсация карбида кремния из газовой фазы происходит при температуре 2800...3000 К, преимущественно по реакции



В пределах температурного интервала устойчивости карбида (2050...2800К) степень превращения SiO₂ в SiC максимальна при температуре менее 2200 К и определяется составом газовой фазы. Способом направленного формирования газовой фазы являлось избыточное введение в систему водорода (аммиака), обеспечивающего полную газификацию углерода путем связывания его в цианистые соединения, тем самым производилось подавление процессов конденсации углерода. Однако, даже при избытке восстановителя, степень превращения кремнезема в карбид не превышает 0.94...0.96 вследствие высокой термодинамической стабильности газообразного SiO₂.

В условиях ограниченного времени пребывания реагентов в реакционной зоне, обычно составляющего 0.01-0.001 с, практическое достижение максимальной степени превращения оксида кремния в карбид возможно. Использование в качестве восстановителя газообразных углеводородов снимает кинетические ограничения, связанные с испарением твердых углеродсодержащих материалов и обуславливает лимитирование восстановления кремнезема и, соответственно, выхода целевого карбида скоростью перехода дисперсного сырья в газовую фазу [6]. Корреляция степени испарения частиц кремнезема с начальными его характеристиками (дисперсностью) и режимами обработки (начальной температурой и расходом плазмообразующего газа, массовой расходной концентрацией сырья) устанавливалась методом модельно-математического прогнозирования. Анализ результатов моделирования и численного расчета процесса плазменного восстановительного синтеза карбида кремния показывает, что полное испарение частиц кремнезема может быть достигнуто при дисперсности 5...15 мкм и начальной температу-

ре плазменного потока 5000... 5500 К, причем при крупности менее 5 мкм возможно достижение оптимальной массовой расходной концентрации сырья ($0,120 \text{ кг SiO}_2/\text{кгN}_2$) и максимального теплового КПД потока (19,5 – 20 %). Оценка достоверности выполненных вычислений осуществлялась путем сопоставления расчетной степени испарения частиц и экспериментально определенной степени восстановления кремнезема. Методика нахождения степени восстановления оксидов основана на определении содержания монооксида углерода в газовой фазе [6].

Восстановительный синтез карбида кремния осуществлялся в плазменной электропечи шахтного типа мощностью 80 кВт, включающей последовательно соединенные камеры [7]:

- смешения плазмы и оксидно-углеводородного сырья, оснащенной тремя генераторами низкотемпературной плазмы ЭДП-104 А, установленных радиально под углом 120 друг к другу;

- реакционной, смонтированной из водоохлаждаемых, футерованных корундом секций с внутренним диаметром 0.046 м, выполненных из коррозионностойкой стали;

- осадительной, предназначенной для организации закалки и частичного накопления целевого соединения.

В комплекс оборудования, обеспечивающего работу плазменной электропечи, входят блоки: электро-, газо- и водоснабжения; контрольно-измерительных приборов и автоматики; устройство дозирования шихтовых материалов; система улавливания синтезированного материала, представленная рукавным фильтром

Плазменный синтез карбида кремния проводился в потоке азота технической чистоты, с добавкой 20...30% водорода. Сырьем служила кремнистая пыль ферросплавного производства крупностью 0,1...0.4 мкм, содержащая 87,45...87,98 % масс. кремнезема. В качестве восстановителя использовался технический пропан с содержанием основного компонента 85%. Оптимальные технологические режимы определялись на основе теоретических исследований процесса.

В соответствии с предельными макрокинетическими условиями переработка кремнистой пыли осуществлялась при начальной температуре плазменного потока 5600 К, температуре закалки 2800...3000 К, массовой расходной концентрации кремнезема $0.12...0.85 \text{ кг/кгN}_2$ при 1.2...1.4 избытке восстановителя. Плазменный синтез карбида кремния проводился при массовом расходе кремнистой пыли $0,50 \pm 0.01 \text{ г/с}$, углеводородного восстановителя – $0,55 \pm 0.01 \text{ г/с}$, газа-теплоносителя - $5.11 \pm 0.15 \text{ г/с}$. При этом производительность по сырью составляла 2.00 кг/ч, по целевому соединению - 1.30 кг/ч.

Аттестационные характеристики синтезированного карбида кремния определялись традиционными методами анализа. Установлено, что плазменный восстановительный синтез обеспечивает получение порошка карбида кремния с удельной поверхностью 3600...3800 $\text{м}^2/\text{кг}$, средним размером частиц 61...65 нм, содержанием основной фазы - 90.87...93.23% масс., свобод-

ного углерода - 0.61...0.95 % масс., оксидов - 6.49...8.14% масс.

Следует отметить, что специфика синтеза в низкотемпературной плазме не приводит к ослаблению высокой термоокислительной устойчивости карбида кремния [7]. Уровень дисперсности и химический состав синтезированного плазменным способом карбида кремния позволяют рекомендовать его для использования в технологии электроосаждаемых композиционных материалов.

С целью оценки эффективности использования синтезированного карбида кремния исследовались особенности формирования и основные свойства композиционных материалов, образующихся в системах: никель (хром) - нанодисперсный порошок (НДП) карбида кремния и никель (хром) - микропорошок карбида кремния марки КЗМ5. Для получения композиционных материалов использовались стандартные электролиты-суспензии, содержащие 1...5 г/л НДП карбида кремния или 5... 12 г/л КЗМ5. Рабочая плотность тока изменялась в диапазоне 2...4 кА/м² в случае использования НДП карбида кремния и 1...3 кА/м² при применении КЗМ5. Процесс осуществлялся при непрерывном перемешивании электролита, температуре 50...70°С, рН электролита 2.2...2.5.

Сопоставительный анализ условий электроосаждения и свойств композиционных материалов с НДП и микропорошками карбида кремния выявил ряд положительных эффектов при использовании порошков, полученных плазменным синтезом. Установлено, что насыщение композиционного слоя частицами ультрамалых размеров происходит при меньшем их массовом содержании в осажденном слое и концентрации в электролите. Максимальное значение процента включения нанодисперсного порошка в никелевую матрицу в 3 раза меньше, чем микропорошка, и достигается при меньшей концентрации второй фазы в электролите (30 кг/м³ в случае НДП и 100 кг/м³ в случае микропорошка). Это обуславливает более высокое значение предельно допустимой катодной плотности тока при использовании ультрадисперсных порошков. Композиционные слои в системе никель – НДП карбид кремния образуются при плотности тока 1... 4 кА/м², верхний предел катодной плотности тока в электролите с микропорошком КЗМ5 составляет 3 кА/м². Увеличение допустимой катодной плотности тока способствует повышению производительности электролитов и обеспечивает возможность получения осаждаемых слоев больших толщин: при использовании нанодисперсного порошка карбида кремния максимальная толщина слоя составляет 200 мкм, в случае КЗМ5 – 50 мкм.

Увеличение дисперсности второй фазы оказывает положительное влияние не только на условия формирования, но и на свойства получаемых композиционных материалов. Нанодисперсные частицы карбида кремния обуславливают тонкое строение осаждаемого слоя, уменьшение его пористости и трещиноватости. Закономерным следствием подобной структуры является улучшение свойств композиции: повышение твердости и сопротивления износу и коррозии. Максимальная микротвердость композиционных материалов

никель (хром) - НДП карбида кремния составляет соответственно 9.2 и 10.3 ГПа, что в 1.2...1.3 раза превышает микротвердость осаждаемого слоя никель (хром) - КЗМ5. Величина токов коррозии в композиционных материалах никель (хром) - КЗМ5 на порядок превышает аналогичную характеристику материалов никель (хром) - НДП карбида кремния. Внутренние напряжения в композиционных слоях с НДП карбида кремния в 1.2...1.4 раза меньше, чем в слоях с КЗМ5. Следует отметить, что увеличение дисперсности второй фазы обуславливает ее равномерное распределение в электроосаждаемом материале. Высокая однородность структуры композиционного слоя с нанодисперсными частицами обеспечивает стабильность его эксплуатационных свойств.

Библиографический список

1. Глушко, В.П. Термодинамические свойства индивидуальных веществ : Справочник в 4-х томах / В.П. Глушко. – М.: Наука, 1978 – 1982 гг.
2. Spangenberg, H.J. Thermodynamische Funktion verschiedener Kohlenwasserstoff – Stickstoff – Verbindungen und Radicals bei hohen Temperaturen und die Zusammensetzung von CHN – Plasmen // Zeitschrift für physikalische Chemie. – 1974. – В. 255. – № 1. – S. 1 – 15.
3. Barin, J. Thermochemical properties of Inorganic Substances / J. Barin, O. Knacke. – N-Y. : Academicpress, 1973. – 647 p.
4. JANAF Thermochemical tables. – Wash. Gov. print. off, 1966 – 1975.
5. Сурис, А.Л. Термодинамика высокотемпературных процессов: Справочник / А.Л. Сурис. – М. : Металлургия, 1985. – 568 с.
6. Руднева, В.В. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве карбида кремния : монография: Т. 3 / В.В. Руднева – М. : Флинта : Наука 2007. – 210 с.
7. Полях, О.А. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве карбида кремния : монография: Т.2 / О.А. Полях, В.В. Руднева – М.: Флинта: Наука, 2007. -188 с.

УДК 669.041

РАСШИРЕНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ЗА СЧЕТ ОСВОЕНИЯ НОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Федулова А.В.

**Научные руководители: канд. техн. наук Строкина И.В.,
канд. техн. наук, доцент Полях О.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru*

Рассмотрена возможность использования концентратов железных руд Бакчарского месторождения и бурого угля Таловского месторождения Том-

ской области для получения высокометаллизированного сырья для нужд черной металлургии. Предложена оптимальная схема организации металлургического производства, включающая получение металлизированных окатышей, переплав их в электропечи и последующую выпечную обработку стали.

Ключевые слова: высокометаллизированные окатыши, Бакcharское месторождение, Таловское месторождение, полукокс.

Рост мирового спроса на продукцию черной металлургии, наблюдающийся на протяжении последних лет, привел к образованию дефицита на рынке сырой железной руды и получаемого из нее железорудного концентрата [1]. Для успешного развития сибирской черной металлургии необходимо создание прочной долговременной сырьевой базы, удовлетворяющей потребности развития производительных сил Сибири и Дальнего Востока.

Таким резервом являются осадочные месторождения железа и, в частности, крупнейший из них – Западно-Сибирский железорудный бассейн, потенциал которого практически в 2,5 раза выше общих мировых запасов железных руд.

Одно из крупнейших железорудных месторождений этого бассейна – Бакcharское месторождение Томской области. Запасы железной руды составляют ~ 38 млрд.т с содержанием общего железа по первоначальному прогнозу от 35 до 42%. Месторождение рассматривается как потенциально долгосрочный источник сырья как для существующих металлургических комбинатов, так и для создания собственной инфраструктуры по добыче и переработке руды с последующей организацией самостоятельного металлургического и металлопрокатного производства [2]. Выгодное экономическое положение Бакcharского месторождения определяется близостью к крупным промышленным центрам (180 км западнее Томска и на расстоянии 200 км севернее Новосибирска), Кузнецкому угольному бассейну, нефтяным и газовым месторождениям (соответственно 600 и 400 км), крупной энергетической системе и лесным ресурсам.

В рамках научно-технического партнерства с Томской горнодобывающей компанией рассматривалась возможность организации металлургического производства по схеме, включающей получение из рудных концентратов Бакcharского месторождения и углеродистого восстановителя металлизированных окатышей, переплав их в электропечи, последующую выпечную обработку стали. В качестве восстановителя предлагается использование бурых углей Таловского месторождения Томской области с общими ресурсами ~ 3,6 млрд.т.

Однако исследования показали, что использование бурых углей в восстановительных процессах проблематично из-за высокого содержания смолистых веществ (15 ÷ 18 % от общей массы), которые отлагаются в низкотемпературных горизонтах печных установок. В целях удаления смолистых веществ уголь с большим содержанием летучих необходимо подвергнуть процессу полукоксования. Полукокс, получаемый из бурых углей, облада-

ют на порядок большей реакционной способностью и более высоким содержанием элементарного водорода, по сравнению с другими твердыми восстановителями, что позволяет при восстановлении оксидов железа обойтись без дополнительного ввода водородсодержащих компонентов для обеспечения оптимальных концентраций водорода в газовой фазе [3]. Работа на таком полукоксе обеспечивает снижение температуры начала восстановления, увеличение в несколько раз скорости химических реакций за счет высокой степени адсорбции и диффузии водорода на поверхности рудного концентрата и углеродистого материала [4].

Полукоксы получали обжигом при разных температурах и времени выдержки в электропечи сопротивления. Оптимальный режим, при котором полностью происходит удаление смолистых фракций и остаточное содержание летучих составляет 7 – 15 %, что достаточно для обеспечения интенсификации процесса восстановления, наблюдается при температурах 575-580 °С и времени выдержки 30-40 мин.

Из железорудного концентрата Бакчарского месторождения, полученного в процессе обжиг-магнитного обогащения с валовым содержанием железа 58,8% и полукокса бурого угля Таловского месторождения ($A^d = 15,2\%$; $V^{daf}=11,5$; $C_{ТВ}^d=75,1\%$) в лабораторных условиях были изготовлены окатыши. В качестве связующего использовалась глинистая суспензия бентонита. Химический состав полученных сырых окатышей: $\%Fe_{общ.} = 51,99$; $\%SiO_2 = 7,42$; $\%Al_2O_3 = 4,10$; $\%CaO = 7,57$; $\%MgO = 0,15$. Фракционный состав гранул после сушки: $> 5 \text{ мм} - 17\%$, $5-3,5 \text{ мм} - 18\%$, $3,5-0,4 \text{ мм} - 41\%$, $<0,4 \text{ мм} - 24\%$.

Изучение кинетики процесса восстановления железорудных окатышей с полукоксом бурого угля проводилось в электропечи сопротивления. По усредненным экспериментальным данным результатов химических анализов построены зависимости степени восстановления железорудного сырья от продолжительности обжига при температурах 800, 950 °С (рисунок 1).

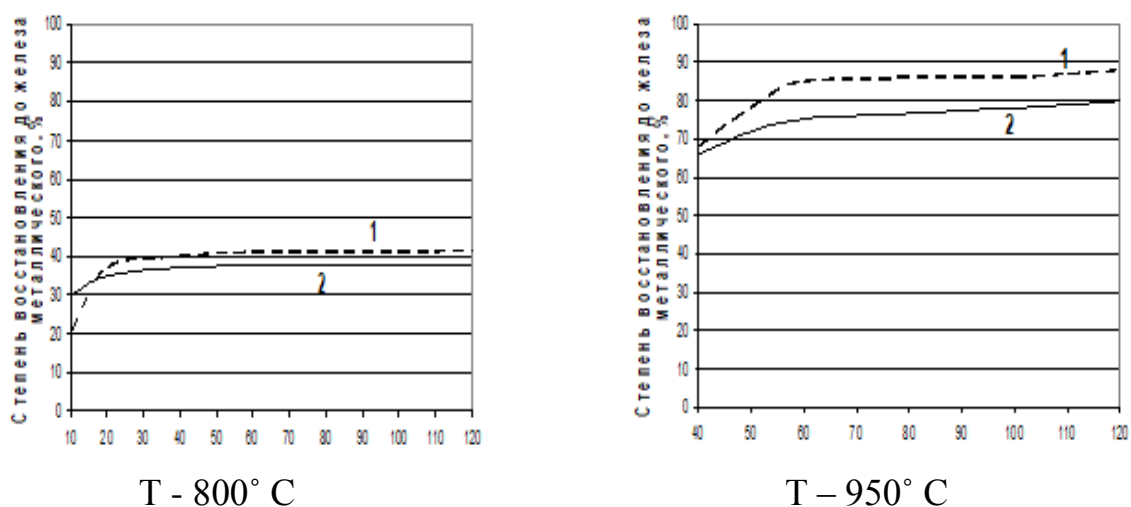


Рисунок 1 – Зависимость степени восстановления железорудного концентрата Бакчарского месторождения полукоксом бурого угля Таловского месторождения от продолжительности обжига (1- окатыши, 2 - порошок)

По результатам кинетических исследований, оптимальными условиями для восстановления окатанной шихты является обжиг в течение ~ 1 часа при температуре 950⁰С.

Выводы:

1. Получение высокометаллизированного сырья из железорудных и буругольных природных запасов Томской области осуществимо и представляется перспективным.

2. Использование в качестве восстановителя полукокса бурого угля позволяет осуществлять восстановительный процесс с улучшенными технико-экономическими показателями.

Библиографический список

1. Ярошенко, Ю.Г. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии черной металлургии / Ю.Г. Ярошенко, Я.М. Гордон, И.Ю. Ходоровская. – Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2012. – 670 с.

2. Чинакал, Н.А. Перспективы использования руды Бакчарского железорудного месторождения / Н.А. Чинакал // Материалы научно-практической конференции. Том I. Полезные ископаемые. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2008.– С. 283-286.

3. Вандышев, А.Б. О контроле равновесных составов технологических газовых сред в системе С-Н-О при высоких температурах / А.Б. Вандышев // Расплавы. - 2000. - № 3. - С. 54-63.

4. Якушевич, Н.Ф. Определение параметров окислительно-восстановительных процессов в системе Fe-C-O₂-H₂ / Н.Ф. Якушевич, И.В. Строкина, О.А. Полях // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. - 2011. - № 8. - С. 13-18.

УДК 621.771

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОИЗВОДСТВА ПРОКАТА НА НЕПРЕРЫВНОМ СРЕДНЕСОРТНОМ СТАНЕ 450 АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Пак В.Е., Маркалин Ю.А., Зохидов Х.Н.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Федоров А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: pak_rapak@mail.ru, markalin.09@icloud.com,
khasandzhon.zokhidov@mail.ru*

Анализ работы непрерывного среднесортного стана «450» АО «ЕВРАЗ ЗСМК» показал целесообразность внедрения термоупрочнения фасонного проката в потоке стана. На основании проведенного анализа литературных данных выбрана схема и конструкция установки для термоупрочнения в условиях рассматриваемого стана. Предложено использовать установку, по-

строенную по блочному принципу, что позволяет вводить в линию прокатки необходимое по технологии количество секций охлаждения.

Ключевые слова: среднесортный стан, фасонные профили, термоупрочнение, производительность.

Непрерывный среднесортный стан «450» АО «ЕВРАЗ ЗСМК» является современным прокатным станом с широким сортаментом производимой продукции, включающем более 200 профилеразмеров. Значительную долю в сортаменте стана составляют фасонные профили: уголки равнополочные и неравнополочные, двутавровые балки, швеллеры, шахтная стойка.

Одним из основных недостатков существующей технологии производства проката на среднесортном стане «450» является отсутствие ускоренного охлаждения (термоупрочнения) проката в потоке стана, что приводит к следующим негативным моментам:

- снижается рентабельность производства проката, поскольку для достижения необходимых механических свойств приходится применять более дорогие легированные стали;

- имеется значительный уровень брака по кривизне по причине повышенной температуры проката, поступающего на роликотправильные машины.

Особенно данная проблема актуальна применительно к фасонным профилям, которые, как сказано выше, составляют значительную долю в сортаменте стана.

Проведенный анализ литературных и производственных данных показал, что технология термического упрочнения проката на сортовых станах в отечественной металлургии применяется в основном для арматурных профилей [1, 2].

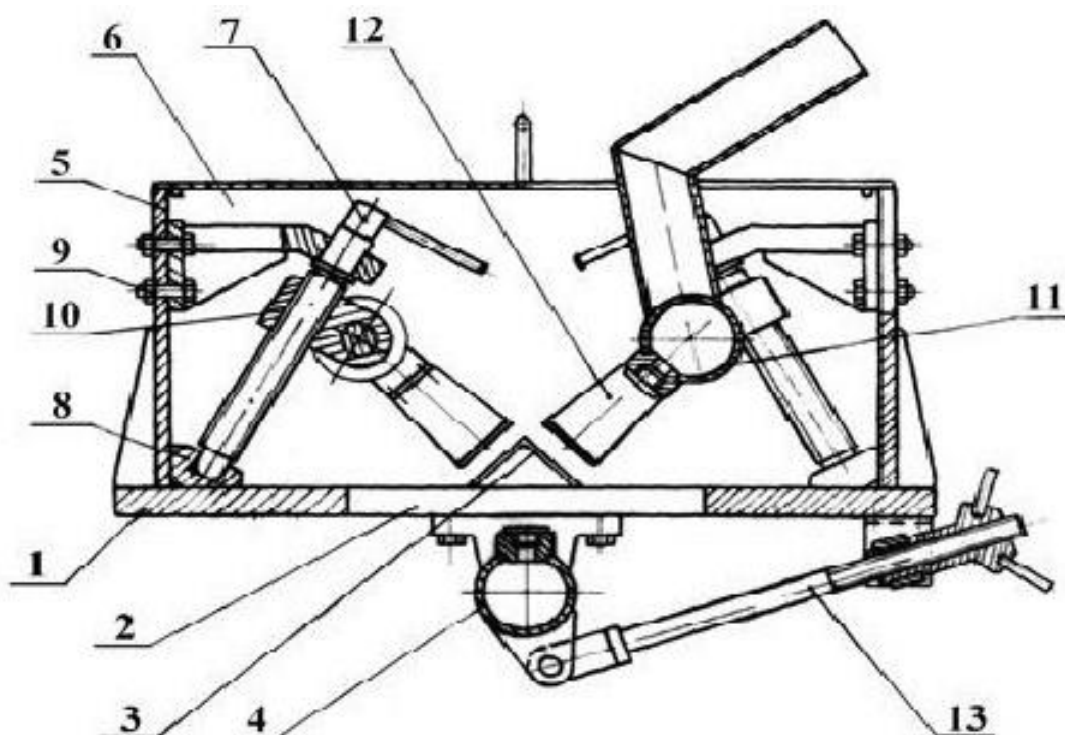
В странах Ближнего и Дальнего Зарубежья аналогично опыту отечественной металлургии технологии термического упрочнения проката на сортовых станах применяются в основном для арматурных профилей, в частности производство термоупрочненной арматуры осуществляется на комбинате «Криворожсталь» (Украина) [3], Белорусском металлургическом заводе [4].

Следует отметить, что применительно к фасонным профилям за рубежом, в основном, имеется опыт использования технологий термоправки проката, основной целью которой является предупреждение искривления профиля, а не повышение механических свойств металла [5].

В частности имеется опыт внедрения установок термоупрочнения-термоправки производства Энергосталь-УкрНИИМет (Украина, г. Харьков) на Макеевском металлургическом комбинате (МакМК), Енакиевском металлургическом заводе [5] (рисунок 1).

Установки располагаются непосредственно после последней клетки стана. Охлаждение производится в две стадии – на первой более массивных участков сечения, на второй – всего сечения. Для осуществления транспортирования проката через секции охлаждения установлены трайберы с фасонными роликами, соответствующими форме прокатываемых профилей,

секции снабжены универсальными форсуночными устройствами со щелевыми или круглыми отверстиями. Установки спроектированы таким образом, что не нуждаются в существенном изменении оснастки при переходе на другие типоразмеры профилей.



1 – основание; 2 – щели для сброса воды; 3 – охлаждаемый профиль; 4, 10, 11 – коллектора; 5 – стенка желоба; 6 – фланец; 7 – винт; 8 – подпятник, гайки; 9 – фиксатор; 12 – направляющая; 13 – тяга

Рисунок 1 – Конструкция универсального устройства для термоупрочнения фасонных профилей УкрНИИМет (Украина)

На ОАО «Молдавский металлургический завод» имеется опыт использования усовершенствованной установки «Thermex» для термоупрочнения уголкового профиля и швеллеров [5]. В разработанной установке несущие уголки помещались в ванну секции охлаждения линии «Thermex», а между ними по входным направляющим подавался прокат. В работу в зависимости от профиля и цели водяного охлаждения вводились от 2 до 4–5 секций. Для обеспечения эффекта термической правки в первый период проводилось охлаждение только массивных участков у вершин(ы) профиля, а затем в последующих секциях все участки профиля охлаждались равномерно. Для упрочнения фасонных профилей применялось более интенсивное охлаждение, в особенности в последних секциях.

Выбор интенсивности охлаждения осуществляется эмпирически. По полученным результатам термоупрочнение равнополочных уголков шириной полки 25–50 мм и толщиной 3–5 мм и швеллеров № 5 из стали 09Г2С приводило к увеличению предела текучести до уровня не менее 450 МПа при исходных значениях для нетермоупрочненного проката – 330 МПа.

Компанией «STG» (Италия) предложена для несимметричных профилей (неравнополочный уголок, полособульб) система форсуночного водяного охлаждения в две стадии [5]: на первой – интенсивное охлаждение массивной части профиля с воздушной отсечкой воды от других участков профиля, на второй – общее охлаждение всех частей сечения профиля.

Следует отметить, что на стане «450» АО «ЕВРАЗ ЗСМК» ранее эксплуатировалась установка собственного производства, предназначенная для ускоренного охлаждения следующего сортамента фасонных профилей: уголки равнополочные №5-12; швеллеры №8-16; двутавровые балки №10-16. Конструктивно установка заключалась в единый корпус и включала в себя три основные части: узел избирательного охлаждения массивной части профиля (вершины), камера охлаждения; отсечное устройство. Узел избирательного охлаждения состоял из верхнего и нижнего сопловых спрейеров, камера охлаждения была выполнена разъемной. Установка термоупрочнения размещалась непосредственно за чистовой группой клетей в линии стана.

Основными достоинствами указанной установки являлись ее низкая стоимость и компактность. Также следует отметить, что практический опыт использования указанной установки показал возможность достижения прочностных характеристик по классу 345 ГОСТ 19281-2014 при закалке балочного профиля из стали 09Г2С [6].

Однако при этом указанная установка конструкции АО «ЕВРАЗ ЗСМК» обладала рядом существенных недостатков:

1. Продолжительное время подготовки установки термоупрочнения к обработке конкретного профилеразмера и значительная продолжительность перенастройки на различные профилеразмеры.

2. Невозможность прокатки по обычной технологии (без закалки) во время работ по настройке и подготовке установки термоупрочнения к работе.

Указанные недостатки приводили к снижению производительности стана и по этой причине она была выведена из эксплуатации и демонтирована.

Из имеющихся в настоящее время практических разработок, для которых существует возможность применения в условиях стана «450» АО «ЕВРАЗ ЗСМК», можно выделить установку для термоупрочнения уголков и швеллеров ОАО «ВНИИМТ», спроектированную для условий среднесортного стана «350» Череповецкого металлургического комбината (ОАО «Северсталь») [5].

Устройство состоит из следующих элементов:

- система охлаждения;
- система ориентации проката относительно форсунок системы охлаждения при транспортировке через устройство термоупрочнения;
- кожухи защиты от разбрызгивания воды за пределы рольганга;
- распределительный узел подвода воды на систему охлаждения.

Секции охлаждения выполняются в двух вариантах – для уголкового проката и швеллера. Подача воды на прокат производится из форсунок специальной конструкции.

Установка для термоупрочнения построена по блочному принципу (рисунок 2): на подвижной раме каждого блока в защитный кожух с крышками последовательно устанавливаются несколько секций охлаждения. На этих же рамах параллельно секциям охлаждения смонтирован рольганг с межроликовыми проводками. Подвижные рамы имеют возможность перемещения перпендикулярно оси прокатки по неподвижным основаниям. Таким образом, возможно перемещение в линию прокатки рольганга взамен секций установки термоупрочнения и обратное перемещение.

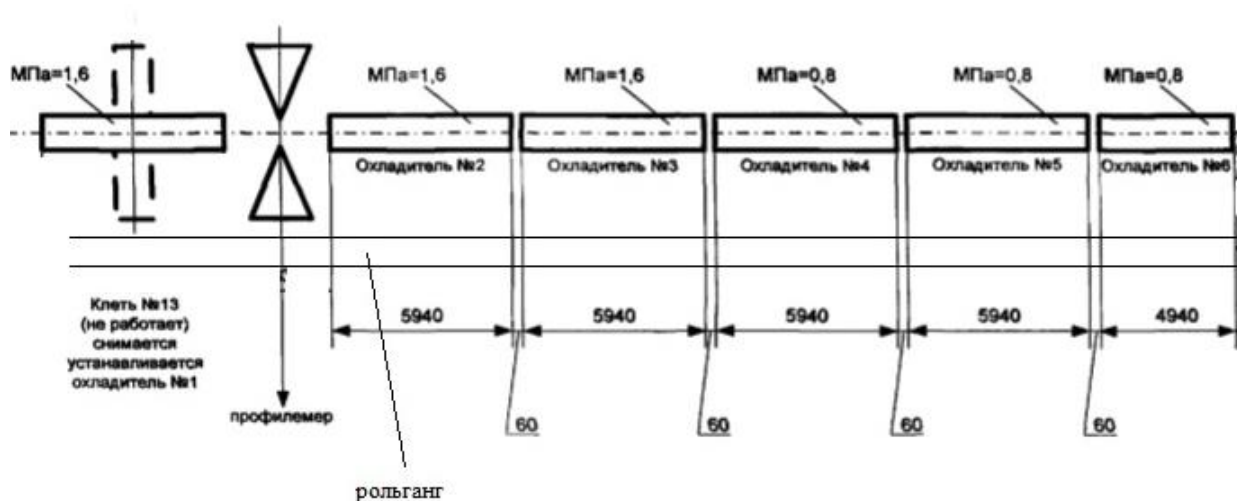


Рисунок 2 – Схема установки термоупрочнения стана 350 «Северсталь»

Данный принцип компоновки позволяет вводить в линию прокатки необходимое по технологии количество секций охлаждения, что, в свою очередь, обеспечивает предотвращение износа центрирующих элементов незадействованных секций охлаждения. Также обеспечивается возможность проведения подготовительных работ по настройке установки термоупрочнения параллельно с прокаткой по обычной технологии, то есть без остановки прокатного стана.

Согласно проекту устройство термоупрочнения фасонного проката стана «350» АО «Северсталь», спроектированное ОАО «ВНИИМТ», устанавливается на месте кожухов отводящего рольганга рам секций №№ 2-6 устройства термоупрочнения арматуры, существующие защитные кожуха демонтируются.

Таким образом, для условий среднесортного стана «450» АО «ЕВРАЗ ЗСМК» целесообразно внедрить установку термоупрочнения, построенную по блочному принципу. Использование такой установки позволит обеспечить возможность термообработки широкого номенклатурного ряда прокатных профилей, возможность варьирования параметров ускоренного охлаждения в широких пределах. Конструктивное решение, позволяющее осуществить перемещение в линию прокатки рольганга взамен секций установки термоупрочнения и быстрое обратное перемещение, позволит обеспечить высокую производительность прокатного стана.

Библиографический список

1. Тахаутдинов Р.С. Производство термомеханически упрочненной арматуры на мелкосортном стане 250-1 Магнитогорского металлургического комбината / Р. С. Тахаутдинов // Черная металлургия. Бюлл. НТИ. – 2003. – №12. – С. 47-48.
2. Айзатулов, Р. С. Освоение массового производства экономичной арматурной стали повышенной надежности класса А400С для железобетона / Р. С. Айзатулов [и др.] // Сталь. –1998. – № 6. – С. 53-58.
3. Губинский В.И. Теплотехническое совершенствование процесса термоупрочнения арматурного проката на ОАО "КГМК "Криворожсталь" / В.И. Губинский // Теория и практика металлургии. – 2004. – № 3-4. – С. 139-141.
4. Щербаков, В. И. Разработка режимов термоупрочнения арматурной стали № 25-36 в условиях стана 320 БМЗ / В. И. Щербаков, Г. А. Курбатов, В. А. Тищенко // Литье и металлургия. – 2002. – № 2. – С. 27-29.
5. Сычков, А. Б. Оборудование и технология для термоправки – термомеханического упрочнения фасонного профиля / А. Б. Сычков, С. О. Машкин // Теория и технология металлургического производства. – 2014. – №2(15). – С. 96-100.
6. Белов, Е. Г. Формирование структуры и механических свойств при ускоренном охлаждении двутавровой балки / Е. Г. Белов [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. – 2010. – № 2. – С. 33-37.

УДК 621.771

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ УЗЛОВ ПРОКАТНОЙ КЛЕТИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ГОТОВОГО ПРОКАТА НА МЕЛКОСОРТНОМ СТАНЕ 250-1 АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Маркалин Ю.А., Зохидов Х.Н., Пак В.Е.

Научный руководитель: д-р техн. наук, доцент Фастыковский А.Р.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: markalin.09@icloud.com*

Проведен сравнительный анализ современных конструкций предварительно напряженных, бесстанинных клетей. Показано, что для условий непрерывного мелкосортного стана 250-1 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» для повышения точности геометрических размеров готового проката целесообразно перейти на прокатку с использованием бесстанинных напряженных клетей картриджного типа, характеризующихся компактностью, прочностью и простотой обслуживания.

Ключевые слова: прокатная клеть, станина, прокатные валки, геометрические размеры, качество проката

В настоящее время одной из основных проблем при производстве проката в условиях непрерывного мелкосортного стана 250-1 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» является повышение качества готового проката.

Анализ литературных данных показывает, что существуют следующие способы повышения точности проката [1-3]:

- 1) применение стабильного температурного режима прокатки;
- 2) повышение жесткости рабочих клетей с целью снижения разницы в упругой деформации клетей;
- 3) применение систем автоматического регулирования межвалкового расстояния;
- 4) автоматическое регулирование натяжения металла в процессе прокатки, либо его устранение;
- 5) компенсация изменения межосевого расстояния валков вследствие увеличения толщины масляной пленки в подшипниках жидкостного трения (ПЖТ) с повышением скорости прокатки.

Одним из способов повышения жесткости рабочей клетки является увеличение сечений силовых деталей. При увеличении диаметра валков уменьшаются их прогибы, но возрастают контактное сплющивание валков, ширина окна и прогибы поперечин станины. Повышать жесткость клетки целесообразно при одновременном увеличении диаметра валков и сечений станины. Так, если увеличить диаметр валков и сечения станин в 1,2 раза, жесткость клетки повысится на 15,2%, а ее масса – на 36%.

В последние годы при проектировании станов для производства сортового проката наметилась устойчивая тенденция к применению предварительно напряженных и бесстанинных клетей.

Предварительно напряженные клетки (ПНК) (рисунок 1) обладают достаточно высокой радиальной жесткостью, компактностью и относительно малой металлоемкостью [4].

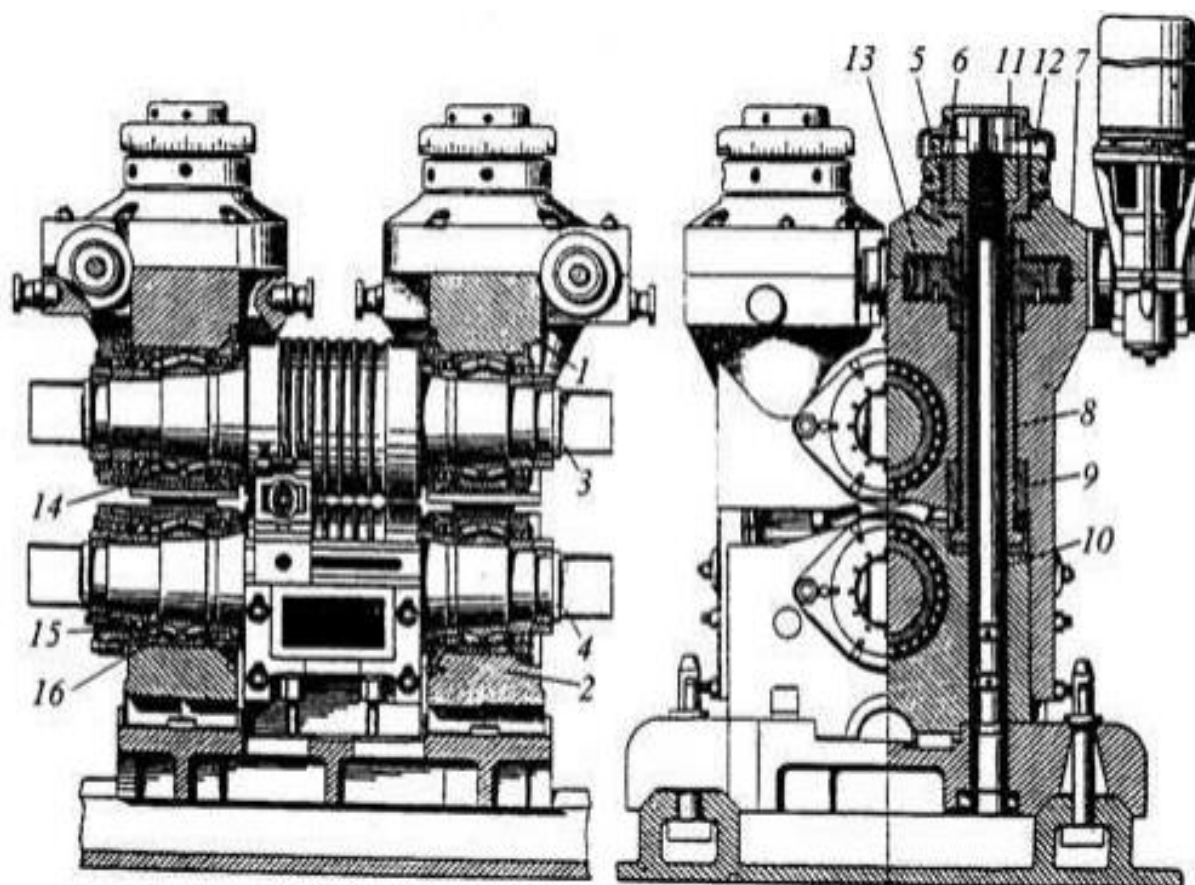
В этих клетях массивные верхние и нижние подушки на каждой стороне валков стягивают стяжными болтами с силой, значительно превышающей максимальное давление металла на валки при прокатке. Эта предварительная нагрузка устраняет зазоры между подушками и соединительными деталями. Давление при прокатке передается непосредственно на подушки и стяжные винты, минуя многочисленные прокладки, нажимные винты, стаканы.

Регулировку валков в ПНК производят двумя способами:

- грубое регулирование (при сборке клетки) осуществляют изменением толщины прокладок, установленных между верхними и нижними подушками;
- тонкое регулирование – поворотом находящихся в расточках верхних подушек эксцентриковых втулок.

Вместе с тем, предварительно напряженные клетки имеют ряд существенных недостатков. Для точной регулировки раствора валков в конструкции клетки применяют эксцентриковые втулки, которые значительно уменьшают наружный диаметр радиальных подшипников, затрудняют подачу

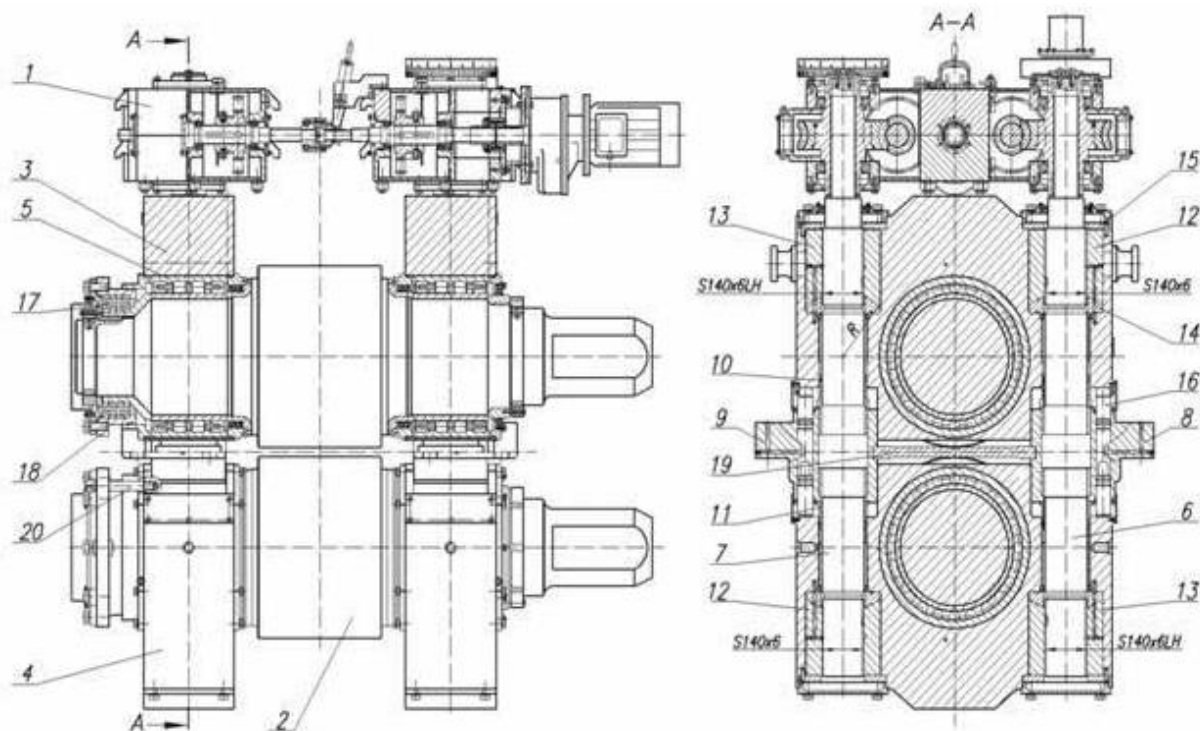
смазки. Кроме того, в ПНК процесс перевалки валков характеризуется повышенной трудоемкостью.



- 1 – верхняя подушка; 2 – нижняя подушка; 3 – верхний валок; 4 – нижний валок;
 5 – стяжная гайка; 6 – приводная гайка; 7 – крышка редуктора; 8 – дистанционный винт;
 9 – дистанционная гайка; 10 – стяжной болт; 11 – 18 вставная гайка; 12 – фиксатор;
 13 – приводное колесо; 14 – подшипник радиальный; 15 – подшипник радиально-
 упорный;
 16 – стакан

Рисунок 1 – Схема предварительно напряженной клетки

Безстанинная клетка (рисунок 2) включает в себя узел валков 1, установленный и зафиксированный откидными болтами 3 на раме 2. В нижней части рама оснащена направляющими с Т-образным пазом для обеспечения возможности перемещения клетки на плитовине. Клетка устанавливается в направляющие плитовины и фиксируется гидрозажимами. Также на раме смонтирован механизм осевой регулировки валков. Он представляет собой двойную рычажную систему при помощи которой производится совмещение ручьев верхнего и нижнего валков. Для каждого валка собран отдельный механизм осевой регулировки, поэтому валки могут перемещаться независимо друг от друга в осевом направлении.



1 – механизм установки раствора валков; 2 – валок; 3 – подушка верхняя; 4 – подушка нижняя; 5 – четырёхрядный роликовый подшипник; 6 – винт правый; 7 – винт левый; 8 – опора правая; 9 – опора левая; 10 – стакан верхний; 11 – стакан нижний; 12 – гайка правая; 13 – гайка левая; 14 – опора сферическая; 15 – шайба фиксатор; 16 – плунжер; 17 – радиально-упорный шарикоподшипник; 18 – корпус; 19 – калибр; 20 – фиксатор

Рисунок 2 – Схема валкового узла бесстанинной клетки стана «280»

Рабочие валки 2 установлены в подушках 3 и 4 на четырехрядных цилиндрических роликовых подшипниках 5. Каждая пара подушек, верхняя и нижняя, собрана на винтах 6 и 7. Винты отличаются только направлением нарезки упорной резьбы. Винты вставлены в опоры 8 и 9 и зафиксированы от осевого перемещения стаканами 10 и 11. Винты имеют свободу вращения в опорах. На винты навёрнуты нажимные гайки с левой и правой резьбой 12 и 13, на которые через сферические опоры 14 опираются подушки. Гайки от проворачивания относительно подушек зафиксированы специальными шайбами-фиксаторами 15.

При одновременном вращении винтов в разных направлениях гайки перемещаются вдоль винта, сводя или разводя подушки симметрично относительно уровня прокатки. Зазоры в резьбе, а так же между подушками и гайками выбираются гидроцилиндрами плунжерного типа 16, вмонтированными в опоры узла валков.

Радиальная нагрузка во время прокатки через подушки и гайки замыкается на винтах. Осевые нагрузки на каждом валке воспринимаются двойными радиально-упорными шарикоподшипниками 17, установленными в корпусе 18 со стороны обслуживания клетки. Сам корпус фиксируется рычагами механизма осевой регулировки валков.

Смазка подшипников качения – пластичная централизованная. Смазка

поверхностей скольжения опор винтов и резьбы – пластичная закладная. Для синхронной работы винтов на их выходных концах смонтирован механизм установки раствора валков 1.

Конструкция валкового узла горизонтальной клетки [5] приведена на рисунке 3.



1 – узел валков; 2 – рама; 3 – болт откидной; 4 – механизм осевой регулировки валков

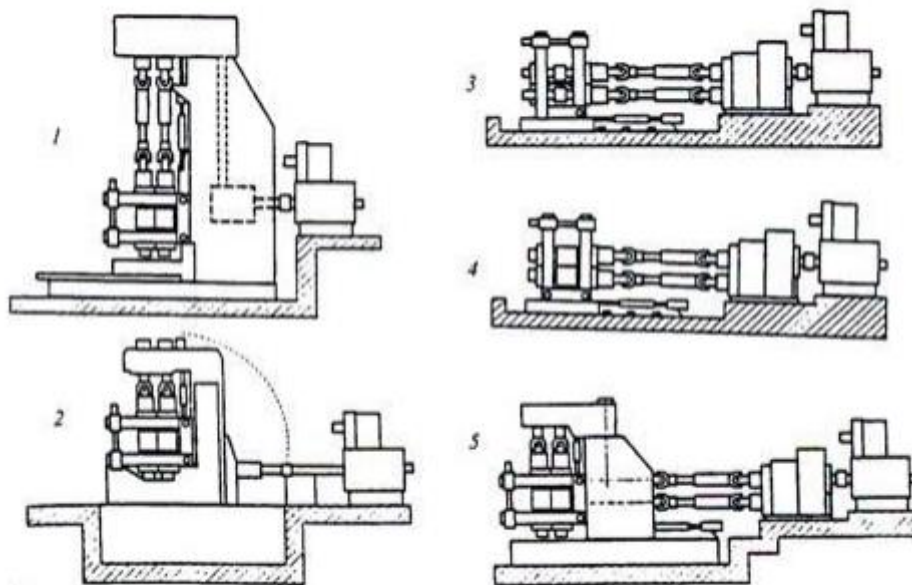
Рисунок 3 – Горизонтальная клеть

Конструкция валкового узла вертикальной клетки [6] аналогична узлу горизонтальной клетки. Для обеспечения возможности вертикального перемещения клетки по стойке, с одной стороны рама оснащена направляющими с Т-образным пазом. В нижней части рамы установлено четыре ролика 4, на которых клеть выкатывается по горизонтальным направляющим стойки при перевалке.

Благодаря применению клетей бесстанинной конструкции [6], обеспечивается выпуск продукции широкого сортамента по суженным допускам. На заводах применяют горизонтальные и вертикальные клетки с консольной установкой валков, клетки картриджного типа.

Бесстанинные напряженные клетки картриджного типа PRD характеризуются компактностью, прочностью и простотой обслуживания. Такие клетки могут принимать различные конфигурации (рисунок 4).

Станины вместе с редукторами могут поворачиваться на 90° , превращая клеть из вертикальной в горизонтальную или обратно за несколько минут.



1 – вертикальная; 2 – горизонтальная; 3 – универсальная; 4 – горизонтальная;
5 – «джокерная»

Рисунок 4 – Варианты клетей картриджного типа

Таким образом, для условий непрерывного мелкосортного стана 250-1 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» целесообразно перейти на прокатке с использованием безстанинных напряженных клетей картриджного типа.

Библиографический список

1. Королев, А. А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов: учебник для вузов / А. А. Королев. – М.: Металлургия, 1987 – 480 с.
2. Фастыковский А.Р. Конструкции и расчеты оборудования прокатных клетей сортовых и листовых станов/ А.Р. Фастыковский, А.Н. Савельев; Сиб. гос. индустр ун-т. – Новокузнецк, 2008. – 316 с.
3. Фастыковский А.Р. Оборудование прокатных цехов/ А.Р. Фастыковский; Сиб. гос. индустр ун-т. – Новокузнецк, 2015. – 208 с.
4. Патент РФ 2242306. Предварительно напряженная клеть // Б. И. Самохин, В. В. Бедняков, В. И. Барабанов, А. В. Колобков, Е. Н. Фоминых // Заявл. 29.03.2002; опубл. 20.12.2004.
5. Патент РФ 2063819. Прокатная клеть горизонтальная/ Г. Я. Алексеенко, С. М. Гольдштейн, Д. Я. Слуцкий, А. Ф. Чумаков, А. С. Викулов // Заявл. 09.06.1992; опубл. 20.07.1996.
6. Патент РФ 2277985. Вертикальная прокатная клеть / А. М. Салдаев, А. Ф. Рогачев, А. Л. // Заявл. 31.01.2005; опубл. 20.06.2006.
5. Патент РФ 2210448. Бесстанинная предварительно напряженная прокатная клеть / Б. А. Серман, Ю. Л. Ершов, В. В. Бедняков, В. Н. Гридневский // Заявл. 13.11.2001; опубл. 20.08.2003.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СОРТОВОГО ПРОКАТА

Вахроломеев В.А., Глухов М.И., Захидов Х.М., Маркалин Ю.А.
Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Фастыковский А.Р.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: wladimir170581@mail.ru*

Потребность в сортовом прокате в связи с развитием строительной отрасли постоянно увеличивается. Такая тенденция вызывает необходимость повышения эффективности производства по возможности с минимальными затратами. Перспективным в этом плане является использование резерва сил трения в очаге деформации прокатной клетки. Проведенные исследования показали эффективность такого подхода, как на стадии реконструкции, так и при последующей эксплуатации оборудования.

Ключевые слова. Эффективность, сортовой прокат, резерв сил трения.

Поиск скрытых резервов и пути их использования – мощный фактор повышения конкурентоспособности готовой продукции. В этом плане наиболее перспективно производство проката, что обусловлено большой стоимостью основного оборудования и серьезными энергозатратами на производство.

Особенность процесса прокатки заключается в том, что мощность, необходимая для деформации, подводится от валков к заготовке посредством сил трения на контакте. Чем полнее возможности сил трения используются для передачи мощности, тем эффективность используемого оборудования (главной линии прокатного стана) выше. Однако разные силовые условия в момент захвата металла валками и на установившейся стадии процесса не позволяют в полной мере использовать потенциал сил трения на контактной поверхности для передачи полезной мощности, что, в свою очередь, снижает коэффициент полезного действия (К.П.Д.) оборудования, увеличивает его металлоемкость. Имеющийся резерв сил трения на установившейся стадии процесса прокатки – это тот потенциал, который не востребован при обычном ведении процесса. Как показали проведенные исследования возможности сил трения при прокатке в гладких валках используются только на 40...50 %, при прокатке в калиброванных на 30...40 % [1,2]. Таким образом, при более полном использовании сил трения на установившейся стадии процесса прокатки для передачи полезной мощности можно практически на треть сократить количество прокатных клеток, при этом существенно снижаются эксплуатационные расходы. Решить вопрос более полного использования сил трения на установившейся стадии процесса прокатки можно за счет реализации таких совмещенных процессов, как деформация в системе приводная – неприводная клетка, процесс прокатки – разделения непривод-

ными делительными устройствами [3]. Все перечисленные процессы основаны на использовании резерва сил трения для совершения дополнительной обработки.

Проиллюстрируем перспективность использования процесса деформации в приводной – неприводной клетки на примере проектной разработки реконструкции непрерывного мелкосортного стана 250-2 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» с целью перехода на более крупную литую заготовку. Рассматривались два альтернативных проекта: в одном задача решалась традиционно за счет установки двух дополнительных приводных клеток, в другом - эта же цель достигалась благодаря использованию резерва сил трения при деформации в двух неприводных клетях. В результате проведения расчетов доказано преимущество проекта, основанного на использовании резерва сил трения. Так на стадии закупки и монтажа оборудования затраты по первому проекту 18345 тыс. рублей по второму - 3722,4 тыс. рублей (т.е. в 3,8...4 раза меньше), себестоимость готовой продукции ниже на 4,24 руб/т за счет сокращения затрат энергии и уменьшения статей калькуляции амортизация и ремонт, содержание основных средств. Использование совмещенного процесса прокатки в приводной – неприводной клетки имеет еще один положительный момент, связанный с улучшением качества готовой продукции. Данное преимущество обусловлено тем, что деформация в неприводной клетки осуществляется за счет подпора со стороны приводной клетки, это, в свою очередь, создает условия лучшего заполнения калибра, повышает технологическую пластичность материала.

Таким образом, использование резервных возможностей сил трения при прокатке позволяет без серьезных капитальных затрат освоить более дешевую литую заготовку на действующих мелкосортных и проволочных станах, снижает себестоимость готовой продукции и способствует улучшению ее качества. Все перечисленные положительные моменты повышают эффективность производства сортового проката.

Библиографический список

1. Фастыковский А.Р., Федоров А.А. Повышение эффективности производства арматурных профилей на действующем непрерывном мелкосортном стане/ А.Р. Фастыковский, А.А. Федоров // Известия вузов. Черная металлургия. – 2017. - №4. – с. 324 – 329.

2. Фастыковский А.Р., Уманский А.А. Теория и практика ресурсосберегающих технологий производства сортового проката на действующих непрерывных станах/А.Р. Фастыковский, А.А. Уманский // Известия вузов. Черная металлургия. – 2015. - №5. – с. 322 – 327.

3. Фастыковский А.Р. К вопросу продольного разделения полосы неприводными устройствами в потоке прокатного стана // Производство проката. – 2009. - №3. – С. 4–9.

АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ НА СРЕДНЕСОРТНОМ СТАНЕ 450 АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Зохидов Х.Н., Маркалин Ю.А., Пак В.Е.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Фастыковский А.Р.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: khasandzhon.zokhidov@mail.ru*

На основании проведенного анализа существующей организации производства на среднесортном стана «450» АО «ЕВРАЗ ЗСМК» предложено для повышения качества готового проката внедрение- автоматических обвязочных машин и автоматизированной цепной транспортной системы, состоящей из двух цепных транспортных групп. Предполагаемый экономический эффект, полученный за счет производства продукции с более высокой добавленной стоимостью составит 280 млн. руб/год.

Ключевые слова: качество проката, отделка проката, обвязочные машины, упаковка готовой продукции, автоматизированные системы

Среднесортный стана «450» АО «ЕВРАЗ ЗСМК» введен в эксплуатацию в 1976 г. Основное оборудование, включая механическое и электрическое оборудование, поставлено фирмой «СКЕТ» (ГДР).

Сортамент стана включает в себя круглый прокат диаметром 32-60 мм, арматурный прокат № 32-50, уголки равнополочные: №5,0-12,5, квадрат 60х60 мм, полосу шириной 120-200мм и толщиной 8-25 мм, специальный взаимозаменяемый профиль (СВП-17, СВП-22, СВП-27), - швеллер №8П-16П; двутавры: № 10-16, №10Б1-16Б1, 14Б2-16Б2, двутавры для шахтных монорельсовых дорог (ДП 155), двутавры ИРЕ 120АА-160АА.

Проведенный анализ показал, что существующая технология и состав оборудования участка отделки проката не обеспечивают упаковку продукции в соответствии с требованиями ГОСТ 7566-94, что снижает ее качество и конкурентоспособность.

К основным операциям по отделке готового проката, применяемым на непрерывном среднесортном стане «450» АО «ЕВРАЗ ЗСМК» относятся порезка, правка, маркировка и упаковка готового проката.

Порезка проката, как и на большинстве современных прокатных станах осуществляется в потоке: производится отрезка переднего и заднего концов раската, а полоса, прошедшая прокатный стан, разрезается на мерные длины по заказам. Эта операция также используется для отделения технологических проб, вырезки дефектных мест проката на участках отделки металла.

К качеству порезки металла предъявляются следующие требования [1-3]:

- обеспечение максимально возможной точности по длине;
- максимально возможная перпендикулярность торца реза;
- отсутствие заусенцев по разрезу;

- максимальное снижение смятых концов металла;
- высокая чистота поверхности и качества реза.

Порезка сортового проката осуществляется на ножницах. В последние годы в металлургии нашли применение новые методы резки металла: с помощью летучих пил, то есть резка проката на ходу, плазменная, импульсная, анодно-механическая, абразивная.

Во ВНИИметмаше разработаны промышленные конструкции высокопроизводительных пил горячей резки диаметром 1200-1600 мм с повышенными скоростями подачи. Вращающийся с постоянной скоростью пильный диск, установленный на водиле, после подачи команды на рез получает дополнительную скорость вращения, определяющую скорость подачи. Водило, совершая полный оборот, выводит пилу из зоны резки и останавливается в исходном положении.

В варианте с летучей пилой водило устанавливают на тележке, синхронно перемещающейся на сравнительно небольшом участке с разрезаемой полосой проката. На этих пилах скорость резания составляет 100 м/с, максимальная скорость подачи до 1,5 м/с, цикл реза 3 с при машинном времени реза, составляющем сотые доли секунды. Увеличение скорости подачи снижает энергетические затраты на рез, отходы получают в виде сливной стружки, используемой для переплава, резко сокращается шумовыделение, качество реза удовлетворительное, износ пил уменьшается.

Наиболее перспективной для удаления дефектных мест проката в поточных линиях отделки сортового проката на адьюстажах является абразивная резка.

Правка проката не только улучшает качество металла по прямолинейности и геометрии поперечного сечения, но и в ряде случаев по состоянию шероховатости поверхности готового проката.

Правку проката осуществляют на роликовых машинах. В последнее время получают распространение правильно-полировальные машины, обеспечивающие окончательную отделку готового проката. Теория упруго-пластического изгиба пока не позволяет обеспечить необходимую прямолинейность полосы проката с минимальными остаточными напряжениями. Современные правильные машины предназначены для эксплуатации с автоматизированной системой управления режимами правки, учитывающей размеры профиля, механические свойства металла, исходную кривизну проката.

Маркировка проката в горячем и холодном состоянии клеймами, красками и бирками является важной технологической операцией. Она относится к числу наименее механизированных тяжелых и трудоемких процессов. Рекомендации по совершенствованию технологии маркирования в промышленности сводятся к следующему [4-6]:

- клеймение проката должно осуществляться последовательно установленными в потоке машинами;
- изготовление бирок необходимо выполнять централизованно в бирочной мастерской, а их навешивание – механизированно в потоке проката;

- на участках маркирования красками должна соблюдаться механизированная поточная технология с применением пистолетов-распылителей.

Не менее важное значение имеют следующие рабочие процессы: временная защита металла от коррозии с помощью смазочных масел, лакокрасочных покрытий, ингибированной бумаги, фосфатирования, пакетирование и увязка проката для складирования и транспортировки металла.

Пакетирование и увязка проката являются окончательной операцией прокатного производства. Их качество определяет товарный вид пакетов и их сохранность при транспортировке.

С целью повышения качества упаковки готового проката предлагается установка автоматических обвязочных машин ф. «ENCE GmbH» (Германия) (рисунок 1). Машина имеет собственную автоматизированную систему управления и электрический шкаф, то есть является полностью модульной системой.

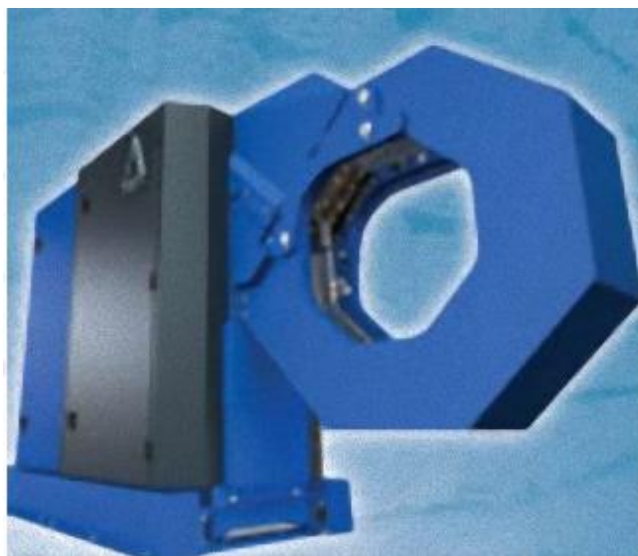


Рисунок 1 – Общий вид автоматической обвязочной машины ф. «ENCE GmbH» (Германия)

Для повышения качества проката за счет сохранения формы связок при транспортировке к вязальным машинам и повышения точности учета прокатной продукции предлагается установка автоматизированной цепной транспортной системы, состоящей из двух цепных транспортных групп.

Эта система располагается после существующего цепного транспортного стола и перед рольгангами к участку упаковки. Использование двух отдельных цепных транспортных столов продиктовано необходимостью переосчета прутков в системе сортировки в этой зоне.

После цепных транспортных столов располагаются приемные S – образные рукава, которые используются для сбора фиксированного количества разрезанного материала и передачи связок на приемную люльку (гнездовое транспортное устройство) с помощью рольганга.

Рукава изготовлены из листового металла и соединены валом. Вал поддерживается системами корпусных подшипников. Рукава приводятся в

действие электродвигателями переменного тока с размыкательным и зубчатым устройством. Приемная люлька используется для защиты формы связки во время транспортировки связки к обвязочной машине. Поэтому дно приемной люльки представляет собой приводной рольганг, а стороны люльки — это опорные /холостые ролики расположенные под углом к друг другу. Нижние ролики рольганга приемной люльки приводятся в действие электродвигателями переменного тока индивидуально. Ролики изготовлены из толстостенной трубной стали, а рама приемной люльки сделана из конструкционной стали.

Счетчик прутков (рисунок 2) оснащен автоматической идентификацией счетного колеса и сортирующего шнека, а также автоматической идентификацией диаметра прутка. Если будет установлено неправильное счетное колесо или сортировочный винт, машина подаст сигнал тревоги.

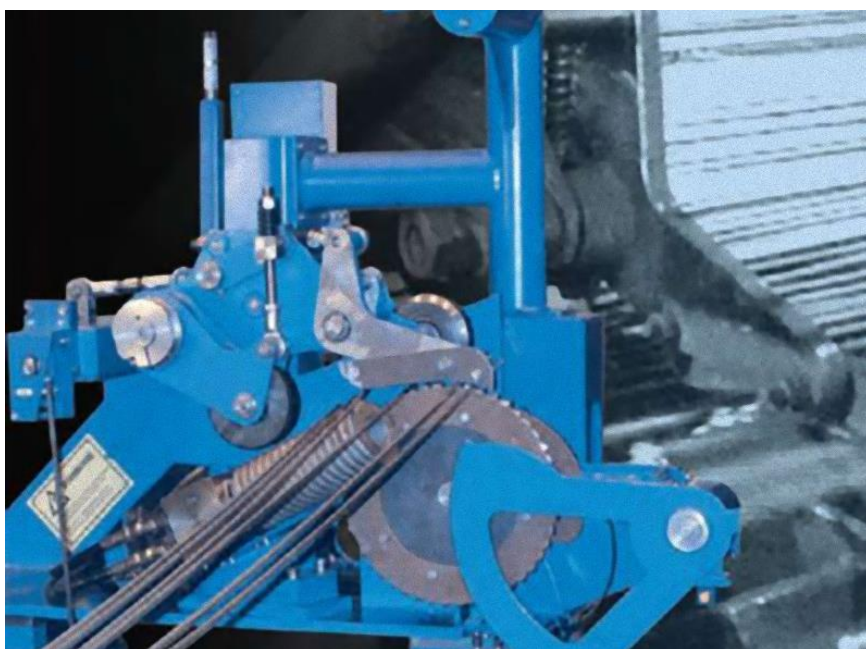


Рисунок 2 – Счетчики прутков автоматизированной цепной транспортной системы ф. «ENCE GmbH» (Германия)

Счетчик прутков представляет собой самоконтролируемую систему, которая сравнивает установленные параметры с фактическими производственными параметрами. У счетчика прутков есть своя собственная система на основе ПЛК, с помощью которой он контролирует окружающее погружно-разгрузочное (манипуляционное) оборудование при помощи сигналов интерфейса. Фактический диаметр прутка и количество прутков в готовой связке устанавливается оператором на главной панели управления, а счетная производительность оптимизируется с помощью системы управления.

Слой прутков транспортируется при помощи цепных конвейеров в зону счетчика прутков, при этом синхронизируются скорости цепного конвейера, сортирующего шнека и счетного колеса. Счетное колесо вращается, и пружинный механизм отбраковывающего рукава обеспечивает фиксацию

прутков в углублениях счетного колеса. Два лазерных фотоэлемента вместе с импульсным кодирующим устройством выполняют операцию подсчета. Первый лазерный фотоэлемент определяет количество поступающих прутков, а второй фотоэлемент контролирует подсчет.

Подсчет производится, когда пруток проходит по лазерному лучу, сравниваемый сигнал обнаруживает и подсчитывает каждый пруток, расположенный в углублениях счетного колеса. Когда заданное количество прутков было подсчитано, счетное колесо останавливается, и сталкивающий рукав переносит последний подсчитанный пруток к готовой связке. Подсчет возобновляется снова по сигналу от приемного устройства прутков.

Экономический эффект от внедрения мероприятия по реконструкции будет получен за счет производства продукции с более высокой добавленной стоимостью: проката упакованного в соответствии с требованиями ГОСТ 7566-94.

Экономический эффект составит:

$$\text{Э} = 200 \cdot 1\,400\,000 = 280 \text{ млн. руб/год,}$$

где 200 руб/т – увеличение прибыли от реализации готового проката;

1 400 000 т/год – объем производства проката на среднесортном стане 450.

Библиографический список

1. Рудской, А. И. Теория и технология прокатного производства: учебное пособие / А. И. Рудской, В. А. Лунев. – СПб.: Наука, 2005. – 540 с.
2. Зотов, В. Ф. Производство проката : учебник / В.Ф. Зотов. – Москва: Интермет Инжиниринг, 2000. – 352 с.
3. Гребенник, В. М. Надежность металлургического оборудования: справочник / В.М. Гребенник, В.К. Цапко. – Москва: Металлургия, 1989. – 592 с.
4. Королев, А. А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов.: учебник для вузов / А. А. Королев. – Москва: Металлургия, 1987. – 480 с.
5. Фастыковский, А. Р. Конструкции и расчеты оборудования прокатных клеток сортовых и листовых станов: учебник для вузов / А. Р. Фастыковский, А. Н. Савельев; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. Центр СибГИУ, 2015. – 316 с.
6. Фастыковский А.Р. Оборудование прокатных цехов/ А.Р. Фастыковский; Сиб. гос. индустр ун-т. – Новокузнецк, 2015. – 208 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СЛИТКОВ ИЗ ПОРШНЕВЫХ СИЛУМИНОВ НА ОСНОВЕ Al-15 % Si

Прудников В.А., Рексиус В.С.

Научный руководитель: д-р техн. наук, доцент Прудников А.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: a.prudnikov@mail.ru*

Исследованы структура и физико-механические свойства слитков из сплава Al-15 % Si, легированных медью, магнием и никелем и модифицированных фосфором и водородом. Показано, что модифицирование комплексным составом, включающим фосфор и водород, приводит к получению неоднородной структуры по сечению слитка диаметром 190 мм. Однако несмотря на структурные отличия механические свойства и значения коэффициента линейного расширения отличаются незначительно.

Ключевые слова: заэвтектический силумин, состав, структура, слиток, механические свойства, коэффициент линейного расширения

Заэвтектические силумины, легированные медью, магнием, никелем и другими элементами, являются в настоящее время одним из самых перспективных материалов для производства поршней двигателей внутреннего сгорания. Это определяется благоприятным сочетанием малого удельного веса, низкого коэффициента линейного расширения (КЛР) с удовлетворительными механическими и хорошими технологическими свойствами [1,2]. Однако наличие в структуре крупных кристаллов первичного кремния (КПК) вносит эти сплавы в разряд труднодеформируемых, что не позволяет их широко применять в промышленности.

С учетом предыдущих работ по разработке поршневых сплавов на основе Al-20 % Si [3-6] и для повышения пластичности и деформируемости сплавов были выплавлены слитки с пониженным до 15 % содержанием кремния. Наряду с легирующими элементами медью, магнием и никелем были введены модифицирующие добавки водорода и фосфора [2,7-9]. Поэтому целью работы являлось исследование структуры и физико-механических свойств слитков из легированных заэвтектических силуминов с содержанием кремния 15 %.

Химический состав опытных сплавов приведен в таблице 1.

Отливку слитков проводили в условиях цеха ЦЦР АО «Русал-Новокузнецк». Расплавление алюминия и приготовление расплавов выполняли в индукционной промышленной печи типа ИАТ-0,06 в графитовом тигле емкостью 40 кг. Сплавы готовили на алюминии марки А7 (ГОСТ 11069-74), кремнии марки Кр0 (ГОСТ 2169-69). В качестве легирующих добавок использовали технически чистые металлы и лигатуры. Наводороживание сплавов проводили с помощью влажных асбестовых тампонов при темпера-

туре расплава 700÷760 °С. Фосфор вводили в сплавы в виде фосфористой меди (МФ-1) с содержанием фосфора в составе 10 %.

Таблица 1 – Химический состав исследуемых сплавов

Номер сплава	Компоненты сплава, вес. %					
	Si	Cu	Mg	Ni	P	H
1	15	3	0.2	–	0,01	0.00008
2	15	3	0.2	1,0	0,01	0.0001
3	15	3	1,1	1,0	0,01	0.0003

Технологический процесс приготовления сплавов включал следующие основные операции: загрузка в печь и расплавление расчетного количества алюминия, введение легирующих добавок, наводороживание, модифицирование, отстаивание металла, снятие шлака, заливка. Температура заливки составляла 700÷730 °С. Расплав заливали из футерованного ковша в стальной цилиндрический кокиль, состоящей из двух половин, соединение между которыми выполнено в виде замка для устранения пролива металла в месте стыка. Размеры слитка соответствовали следующим значениям: диаметр 190 мм, высота 500÷550 мм, вес слитков составлял 32÷40 кг.

Изучение микроструктуры слитков проводили на металлографических образцах, приготовленных из поперечных темплетов, вырезанных на высоте 50 мм от дна слитка. Методика приготовления шлифов наряду с механической шлифовкой и полировкой абразивом включала электролитическую полировку при 80 °С в течение 40 с. Для травления образцов использовали реактив Келлера, время травления составляло 1 мин. Исследование микроструктуры проводили на оптическом микроскопе ЛабоМет-И1. Механические характеристики слитков определяли на разрывной машине Р-10 с использованием цилиндрических образцов с диаметром рабочей части 6 мм. Для определения твердости слитков по Бринеллю применяли прибор типа ТШ-2. Определение коэффициента линейного расширения проводили с использованием оптического дифференциального dilatометра системы Шевенара.

Особенности строения и свойства слитков. Установлено, что микроструктура сплавов в литом состоянии после обработки расплава влажным асбестом, обеспечивающей необходимое содержание водорода, и введения фосфористой меди неоднородна по сечению слитка. В поперечном сечении слитка можно выделить три характерные зоны:

– центральная – состоит из размодифицированной игольчатой эвтектики (Al+Si), участков α -твердого раствора алюминия сложного состава и редко расположенных кристаллов первичного кремния;

– промежуточная, периферийная – состоит из модифицированной эвтектики (Al+Si), дендритов α -твердого раствора алюминия и кристаллов первичного кремния, объемная доля которых заметно больше, чем в центральной зоне;

– поверхностная – представляет собой крупнокристаллический ободок

шириной 3–5 мм. Данная зона в формировании структуры деформированных заготовок не участвует, так как она удаляется при подготовке поверхности слитка (обдирка) с целью устранения поверхностных дефектов перед деформацией (прессование, штамповка).

В таблице 2 и 3 показаны механические свойства и средний и истинный коэффициенты линейного расширения слитков из опытных сплавов.

Таблица 2 – Физико-механические свойства слитков из опытных сплавов (слитки диаметром 190 мм)

Сплав	НВ, МПа по зонам		σ_B , МПа	Средний КЛР, $\alpha_{cp} \cdot 10^{-6}$, град ⁻¹ в интервале, °С		
	периферийная	центральная		50-150	150–300	50–300
1	873	853	153	18,6	20,9	20,0
2	840	913	148	18,5	20,0	19,3
3	1020	1006	125	19,0	20,0	19,6

Таблица 3 – Истинный коэффициент линейного расширения слитков из опытных сплавов

Сплав	Коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^{-6}$, град ⁻¹ , при температуре, °С								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
1	17.4	18.9	19.7	20.5	21.0	22.5	22.3	20.1	18.0
2	17.1	18.8	19.5	20.0	19.8	20.7	21.0	19.5	16.9
3	18.1	19.2	19.7	19.8	20.1	20.4	21.5	21.1	20.4

Видно, что, несмотря на структурные отличия периферийной и центральной части слитков, твердость их в зависимости от состава различается незначительно и составляет 840÷1020 МПа и 813÷1006 МПа соответственно. Временное сопротивление разрыву сплавов находится в пределах 125÷153 МПа.

Определение значений КЛР сплавов проводили не только в интервале 150÷450 °С, но и по интервалам температур являющихся эксплуатационными для поршней двигателей 50÷150, 150÷300 и 50÷300 °С. Средние значения коэффициента линейного расширения, определяемого в интервале 50÷150 °С, составляют $(18,5 \div 19,0) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹, а в интервале 150÷300 °С – $(20,0 \div 20,9) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ соответственно. Для всего эксплуатационного интервала поршней – $(19,3 \div 20,0) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹.

Таким образом, исследованы структура и физико-механические свойства слитков из сплава Al-15 % Si, легированных медью, магнием и никелем и модифицированных фосфором и водородом. Показано, что модифицирование комплексным составом, включающим фосфор и водород, приводит к получению неоднородной структуры по сечению слитка диаметром 190 мм. Однако, несмотря на структурные отличия, механические свойства и значения коэффициента линейного расширения в эксплуатационных интервалах

поршней отличаются незначительно.

Библиографический список

1. Строганов Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием / Г.Б. Строганов, В.А. Ротенберг, Г.Б. Гершман. – Москва: Металлургия, 1977. – 271 с.
2. Прудников А.Н. Структурно-технологические основы разработки прецизионных силуминов с регламентированным содержанием водорода / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.16.09 / НГТУ, Новосибирск, 2013. – 40 с.
3. Prudnikov A.N. Deformable heatproof transeutectic silumin for pistons // A.N. Prudnikov // Steel in Translation. – 2009.– Т. 39. – № 6. – С. 456-459.
4. Прудников А.Н. Поршневые деформируемые заэвтектические силумины / А.Н. Прудников // Технология металлов.– 2014.– № 2.– С. 8 - 11.
5. Прудников А.Н. Структура и свойства жаропрочного силуминового поршня/ А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Черная металлургия.– 2009.– № 8.– С. 28-30.
6. Афанасьев В.К. Разработка поршневого заэвтектического силумина и технологии изготовления поршней обработкой давлением / В.К. Афанасьев, А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Цветная металлургия.– 1999.– № 6.– С. 53-56.
7. Прудников А.Н. Линейное расширение легированных и наводороженных силуминов, закристаллизованных под давлением / А.Н. Прудников // Литейное производство.– 2009.– № 2.– С. 2-4.
8. Афанасьев В.К. Модифицирование бинарного заэвтектического силумина / В.К. Афанасьев, А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Черная металлургия.– 1999.– № 10.– С. 33-35.
9. Прудников А.Н. Формирование структуры заэвтектического силумина при литье слитков полунепрерывным способом / А.Н. Прудников, В.А. Прудников // Актуальные проблемы в машиностроении.– 2017.– Т. 4 – № 3.– С. 78-83.

УДК 669.715.046.516.4

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ШИХТЫ И РАСПЛАВА НА МИКРОСТРУКТУРУ СИЛУМИНОВ С 3-15% SI

Ломиворотов Н.П., Полунин А.М., Юркина М.С.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Попова М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: pddcull20@mail.ru*

Изучено влияние различных способов обработки шихты и расплава на микроструктуру силуминов с 3-15%Si. В работе были использованы следующие способы обработки расплава: наводороживание влажным асбестом, продувка воздухом, продувка водородом, кипячение в щелочном растворе.

Дополнительно проведена продувка шихтового кремния воздухом. Установлено, что обработка шихты и расплава по изученным режимам способствует модифицированию структуры, увеличению объемной доли эвтектики и снижению ТКЛР силуминов. Наиболее эффективное влияние обработки расплава на снижение ТКЛР и уменьшение аномалии теплового расширения наблюдается для силуминов с 3 и 5%Si.

Ключевые слова: силумины, алюминий, кремний, обработка расплава, микроструктура, ТКЛР.

Сплавы на основе системы Al-Si в промышленности применяются в качестве конструкционных материалов и сплавов специального назначения, что во многом определяется параметрами их микроструктуры. Кремний, введенный в расплав, уже в количестве 6-7% склонен к ликвации и образованию первичных выделений кремнистой фазы, как правило, в виде крупных частиц. Поэтому свойства сплавов Al-Si зависят не только от их химического состава, но и от размеров, формы и характера распределения частиц кремнистой фазы.

Для сплавов Al-Si обязательной технологической операцией является модифицирование как метод улучшения структуры и физико-механических свойств. В настоящее время разработано большое количество способов модифицирования силуминов. Одни модификаторы лучше измельчают эвтектический кремний, другие – первичные кристаллы кремнистой фазы. Эффективными модификаторами доэвтектических силуминов являются поверхностно-активные вещества, прежде всего, натрий, а также литий, калий и кальций, хотя их действие значительно слабее, чем натрия [1]. Однако в более поздних исследованиях показано, что стронций по сравнению с натрием не только обеспечивает повышение прочностных и пластических свойств доэвтектических силуминов, но и улучшает их жидкотекучесть при большей длительности сохранения эффекта модифицирования [2].

Многие исследователи уделяют особое внимание влиянию газов на процесс модифицирования сплавов Al-Si. В работах [3–5] показано, что эффективным модификатором силуминов является водород. Установлено [6–8], что обработка расплава силуминов водородом не только модифицирует их структуру, улучшая механические свойства, но и влияет на их тепловое расширение. Таким образом, величина температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР, α) силуминов так же, как и механические свойства, во многом определяется параметрами их микроструктуры. Необходимо учитывать, что положительный эффект обработки зависит от правильного выбора способа введения водорода в расплав, а также от длительности и температуры наводороживания.

В настоящей работе исследовано влияние различных способов и режимов обработки расплава, предусматривающей наводороживание, на параметры микроструктуры и ТКЛР силуминов с содержанием кремния 3 – 15%. В качестве объекта исследования были выбраны двойные сплавы Al-(3÷15)%Si. В расплав алюминия вводили кристаллический кремний в коли-

честве 3, 5, 7, 11 и 15 %. Затем расплав подвергали следующим видам обработки: наводороживание влажным асбестом, продувка расплава Al-5% Si горячим воздухом при температуре 900 °С в течение 30 минут или кипячение его в щелочном растворе (KOH). Для сплава Al-11%Si проводили продувку шихтового кремния воздухом при температуре 1100 °С в течение 30 минут. Для сплава Al-15% Si продувку расплава водородом, получаемым при взаимодействии алюминия и щелочи NaOH, проводили по четырем режимам: при температуре 860 °С в течение 1 и 5 минут и при температуре 900°С в течение 10 и 20 минут. Сплавы заливали в холодный металлический кокиль. Из полученных слитков вырезали образцы для металлографического и дилатометрического анализа.

Металлографические исследования проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX51 с программным обеспечением компании СИАМС в диапазоне увеличений 100 – 1000 и микроскопа Carl Zeiss EVO50 XVP с микроанализатором EDS X-Act при ускоряющем напряжении 20 кВ. ТКЛР определяли с помощью фоторегистрирующего оптического дилатометра системы Шевенара. Содержание атомарного водорода определяли на лабораторной установке В-1 методом нагрева образца в токе инертного газа-носителя (аргона).

На первом этапе изучено влияние обработки расплава влажного асбеста на содержание водорода и параметры микроструктуры силуминов с содержанием кремния от 3 до 15%. В результате обработки расплава указанным способом наблюдается увеличение содержания водорода, находящегося в твердом растворе (таблица 1), что оказывает модифицирующее влияние на микроструктуру силуминов. Влияние наводороживания на морфологию и размеры структурных составляющих оценивали по результатам металлографического анализа исследованных сплавов.

Количественный металлографический анализ наводороженных малокремнистых силуминов Al-3%Si и Al-5%Si показал, что обработка расплава приводит к диспергированию дендритов α -твердого раствора и увеличению размеров эвтектического кремния. Обработка расплава Al-7% Si, напротив, способствует увеличению размеров дендритов α -твердого раствора (рисунок 1 б, г, е, таблица 1). Возможно, это связано с тем, что, в отличие от сплавов Al-3%Si и Al-5%Si, наводороживание сплава Al-7%Si по изученному режиму резко увеличило содержание водорода в нем по сравнению с исходным уровнем (таблица 1), что привело к так называемому эффекту перемодифицирования [1].

Установлено, что наводороживание усиливает неравномерность структуры, которая обусловлена кристаллизацией в металлический кокиль. Наиболее ярко это проявляется для сплавов Al-7%Si и Al-11% Si. После обработки расплава у силумина с 7 % кремния наблюдается отклонение от нормальной структуры, проявляющееся в увеличении объемной доли эвтектики, присутствии внутри дендритов α -твердого раствора игл кремния и скелетообразных кристаллов железосодержащей фазы (рисунок 1, е).

Таблица 1– Влияние обработки расплава влажного асбеста на содержание водорода и размер структурных составляющих силуминов с 3-15 % кремния

Сплав	Способ приготовления	Размер структурных составляющих, мкм				Содержание водорода [H], см ³ /100 г Me
		первичные кристаллы кремнистой фазы	дендриты твердого раствора	эвтектический кремний		
				округлой формы	игольчатой формы	
Al-3%Si	обычный	–	62-415	0,5-2,4	–	1,2
	обработка расплава	–	91-257	0,4-3,8	–	1,7
Al-5%Si	обычный	–	120-1433	0,5-2,8	–	1,3
	обработка расплава	–	115-304	1,8-18,4	–	1,9
Al-7%Si	обычный	–	77-549	0,5-4,0	–	1,3
	обработка расплава	–	186-1240	0,3-3,1	–	2,6
Al-11%Si	обычный	–	183-1592	1,6-4,2	12,3-75,0	1,4
	обработка расплава	8,7-22,3	216-1957	1,7-4,3	18-61	2,1
Al-15%Si	обычный	12-170	133-441	0,2-1,9	34-87	1,6
	обработка расплава	79-190	214-315	0,4-2,3	12,3-57,9	2,4

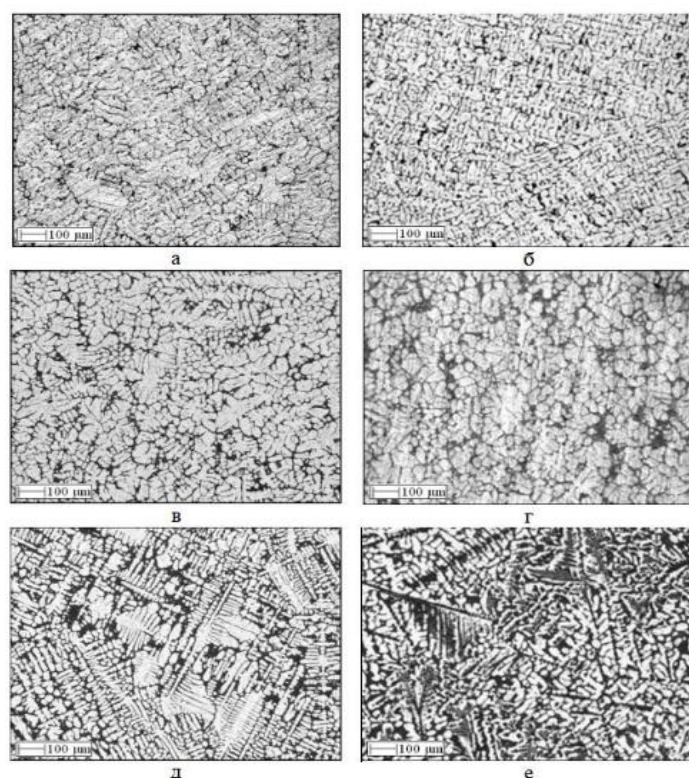
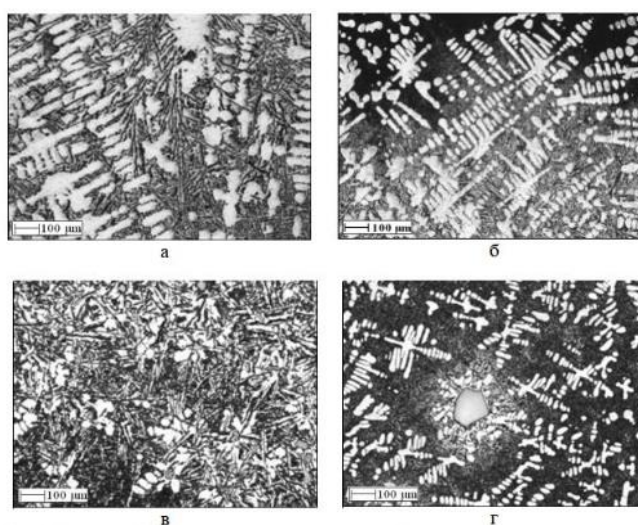


Рисунок 1 – Влияние обработки расплава влажного асбеста на микроструктуру силуминов с 5–7% кремния: а, б – 3%Si, в, г – 5%Si, д, е – 7%Si; а, в, д – исходный, б, г, е – после обработки расплава

Наводороживание сплава Al-11% Si способствует росту дендритов α -твердого раствора и диспергированию эвтектического кремния игольчатой формы (табл. 1). Кроме того, в структуре в небольшом количестве появляются мелкие первичные кристаллы кремнистой фазы, а также расширяется область с мелкодисперсным строением эвтектики в центре образца (рис. 2, б).

Обработка расплава влажным асбестом способствует росту кристаллов кремнистой фазы в структуре заэвтектического сплава Al-15%Si, наблюдающихся в местах скопления дендритов α -твердого раствора, диспергированию дендритов α -твердого раствора и эвтектического кремния игольчатой формы (рисунок 2, г, таблица 1).



а, б – 11%Si, в, г – 15%Si; а, в – исходный, б, г – после обработки расплава

Рисунок 2 – Влияние обработки расплава влажного асбеста на микроструктуру силуминов с содержанием 11 и 15%Si:

Как видно из приведенных данных, модифицирующее действие водорода проявляется по-разному в зависимости от содержания кремния: в структуре доэвтектических силуминов происходит диспергирование дендритов α -твердого раствора, в эвтектических и заэвтектических силуминах диспергируется в первую очередь кремний, входящий в состав эвтектики, а также увеличивается объемная доля эвтектики.

Ранее было установлено, что такие технологические факторы, как обработка шихты и расплава, могут способствовать снижению ТКЛР силуминов [8]. В связи с этим было исследовано влияние обработки шихты и расплава, предусматривающей увеличение содержания атомарного водорода, на ТКЛР с 3–15% кремния.

Установлено, что наводороживание расплава Al-3%Si влажным асбестом и продувка расплава Al-5%Si подогретым или горячим воздухом в течение 30 минут при температуре 900°C или кипячение его в щелочном растворе (KOH) способствуют уменьшению аномалии теплового расширения, наблюдающейся в интервале температур испытания 250–350°C, и снижению значений ТКЛР. Обработка расплава Al-7%Si влажным асбестом увеличивает

ет значения ТКЛР при 100–400 °С. Аномальное повышение ТКЛР (на 34%) наблюдается при 250–300 °С. Возникновение аномалии теплового расширения коррелирует со структурными изменениями, которые наблюдаются после обработки расплава.

Продувка шихтового кремния воздухом и обработка расплава влажного асбеста практически не оказывают влияния на ТКЛР силуминов эвтектического и заэвтектического состава.

Проведенные исследования позволили установить, что обработка расплава силуминов с содержанием кремния 3–15%, предусматривающая увеличение содержания в них атомарного водорода, оказывает сильное модифицирующее действие на их микроструктуру.

Модифицирующее действие водорода зависит от содержания кремния в сплаве. В случае оптимально выбранного режима наводороживания происходит не только измельчение структурных составляющих и улучшение их морфологии, но и уменьшение ТКЛР силуминов. Для сплавов Al–3÷5%Si увеличение содержания водорода в сплаве приводит к уменьшению аномалии теплового расширения в интервале 250–300°С, характерной для малокремнистых силуминов. Продувка расплава водородом позволяет снизить ТКЛР заэвтектического сплава Al–15%Si в интервале температур испытания 50–150°С в среднем с $18 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ до $16,5 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹.

Библиографический список

1. Строганов Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием / Г.Б. Строганов, В.А. Ротенберг, Г.Б. Гершман. – М.: Металлургия, 1977. – 271 с.
2. Абрамов А.А. О модифицировании силуминов / А.А. Абрамов // Литейное производство. – 2012. – № 7. – С. 17–19.
3. Стеценко В.Ю. О модифицировании доэвтектических и эвтектических силуминов / В.Ю. Стеценко // Литье и металлургия. – 2008. – №1. – С. 149–150.
4. Борисов Г.П. О роли водорода в формировании структуры и свойств алюминиевых сплавов / Г.П. Борисов // Металлургия машиностроения. – 2005. – № 5. – С. 11–20.
5. Стеценко В.Ю. О механизме модифицирования силуминов / В.Ю. Стеценко // Металлургия машиностроения. – 2008. – № 1. – С. 20–23.
6. Афанасьев В.К. Легкие сплавы с малым тепловым расширением / В.К. Афанасьев, М.В. Попова, А.А. Ружило [и др.]. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2000. – 376 с.
7. Попова М.В. Наследственное влияние обработки шихты и расплава на терморасширение заэвтектических силуминов / М.В. Попова, А.А. Ружило // Литейное производство. – 2000. – № 10. – С. 4–6.
8. Афанасьев В.К. Влияние обработки расплава водяным паром и термической обработки на линейное расширение алюминия с добавками 3 – 9% кремния / В.К. Афанасьев [и др.] // Вестник Российской академии наук. Западно-Сибирское отделение. – 2009. – Вып. 11. – С. 105–110.

РЕЛЬСОВАЯ СТАЛЬ: МАРКА И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Михеева Д.В.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Попова М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: dashamiheeva18031997@mail.ru*

Рельсовая сталь - это углеродистая легированная сталь, которая легируется кремнием и марганцем. Углерод дает стали такие характеристики, как твердость и износостойкость. Марганец увеличивает эти качества и повышает вязкость. Кремний также делает рельсовую сталь более твердой и износостойкой. Рельсовую сталь может стать еще качественнее с помощью микролегирующих добавок.

Ключевые слова: рельсовая сталь, материалы, химический состав, компоненты, марка, применение.

Рельсовая сталь

По раскислителям делится на 2 принципиальные группы:

I – вредные примеси убираются с помощью ферромарганца или ферросилиция;

II – для удаления кислорода применяются алюминиевые включения (считающиеся более предпочтительными из-за их природы).

Химический состав и его преимущества

Для основных марок стали ЖД рельса он регламентирован ГОСТом Р 554 97-2013. Данный межгосударственный стандарт устанавливает, что основной компонент – это железо, но помимо него в сплав обязан входить еще ряд элементов – в следующих массовых долях:

Углерод (карбон) – от 0,71 до 0,82%, усиливает механические свойства примерно вдвое. Его частицы связывают ферро-молекулы, превращая их в карбиды, которые гораздо прочнее и крупнее. И высокотемпературные воздействия становятся не настолько критичными.

Марганец – от 0,25 до 1,05 %, улучшает ударную вязкость (на четверть-треть), а также износостойкость и твердость. Причем пластичность не ухудшается, что самым положительным образом влияет на технологичность готового прокатного изделия.

Кремний – от 0,18 до 0,4 %, требуется для удаления кислородных примесей, а значит и для оптимизации внутренней кристаллической структуры материала. С такой добавкой существенно уменьшается вероятность появления ликвационных пятен, а долговечность повышается примерно в 1,4 раза.

Ванадий – от 0,012 до 0,08%, в зависимости от конкретной марки стали для изготовления рельсов. Важен для обеспечения достаточной контактной прочности. В соединении с углеродом образует карбиды, повышающие предел выносливости (а именно нижний его порог).

Отдельного рассмотрения заслуживают нежелательные или даже вредные примеси, вычленив которые до конца с помощью современных технологий пока не удастся. Это:

Азот – от 0,03 до 0,07%, плох тем, что нейтрализует легирующий эффект. Из-за него в толще профиля образуются нитриды, которые не поддаются термоупрочнению, а значит снижают механические свойства готовых элементов ВСП.

Сера – до 0,045%. Ее включения не дают сплаву быть податливым при горячей обработке под давлением. В результате после проката может получиться изделие, склонное к образованию трещин, и его придется сразу же отбраковать.

Фосфор – до 0,035. Он тоже повышает хрупкость металлоконструкции. С ним быстро накапливается усталость, что приводит к скорым расслоениям и разломам.

Ради максимальной наглядности представляем химический состав популярных марок стали для железнодорожных рельсов в следующей сводной таблице (таблица 1).

Таблица 1- Марки рельсовой стали и их химический состав.

Марка стали	Массовая доля элементов %								
	Углерод	Марганец	Кремний	Ванадий	Титан	Хром	Фосфор Не более	Сера	Алюминий
К78ХСФ	0,76-0,82	0,75-1,05	0,40-0,80	0,05-0,15		0,040-0,60	0,025	0,025	0,005
Э78ХСФ							0,035	0,040	
М76Ф	0,030		0,035						
К76Ф	0,025		0,030						
Э76Ф	0,035		0,040	0,020					
М76Т	0,030		0,035						
К76Т	0,71-0,82		0,25-0,45			0,007-0,025	0,030	0,035	
Э76Т							0,025	0,030	
М76	0,035		0,040						
К76	0,030		0,035	0,025					
Э76	0,025	0,030							

Примечания:

В марках стали буквы М, К, Э – обозначают способ выплавки стали, цифры – среднюю массовую долю углерода, Буквы Ф, С, Х, Т – легирование стали ванадием, кремнием, хромом и титаном соответственно.

Допускается массовая доля остаточных элементов – хрома (В рельсах категории Т1, Т2, Н), никеля и меди не более 0,15% каждого, при суммарной массовой доле не более 0,40%. Химический состав для Р65К должен соответствовать указанному, за исключением массовой доли углерода, которая должна быть 0,83 – 0,87%. При этом цифры в марке стали заменяют на 85.

Как видите, дополнительно указаны еще два компонента – титан и хром. Мы не стали их подробно описывать выше, так как они присутствуют далеко не всегда, но первый из них является полезной примесью, чей положительный эффект сводится к повышению прочности, а второй – остаточным элементом. Также стоит обратить внимание на наличие алюминия, помогающего снизить вес без ухудшения других качественных показателей.

Применение и марки рельсовой стали

Основная сфера использования металла (что ясно из его названия) – выпуск прокатных изделий для укладки ВСП.

Теперь рассмотрим самые востребованные вариации сплавов:

76 – самая популярная. Из нее изготавливаются профили серий Р50 и Р65, составляющие 3/4 всех опорных конструкций ширококолейных ЖД-полотен.

76Ф – уже усиленная ванадием, с повышенным ресурсом. Поэтому используется для производства проката, который в дальнейшем будет укладываться в линии для высокоскоростного движения локомотивов и другого быстрого транспорта.

К63 – легирована никелем (до 0,3%), отличается впечатляющей твердостью и лучшей коррозионной стойкостью. Из нее выполняются крановые рельсы, марка стали позволяет выдерживать нагрузки, в других случаях ставшие критическими.

К63Ф – с добавками вольфрама, а значит с еще более высокой циклической прочностью.

М54 – обогащенная марганцем и за счет этого обладающая хорошей вязкостью. Нашла свое применение при выпуске накладок для мест стыка и стрелочных переводов.

М68 – актуальная при производстве специфических элементов верхнего строения пути.

Необходимость механических свойств в различных сочетаниях и определила такое разнообразие вариантов. Добавьте сюда сравнительно малый вес и низкую стоимость, и получите очень практичную конструкцию для строительства транспортных линий и узлов развязки (таблица 2).

Таблица 2- Марка рельсовой стали и ее назначение

Материал	Применение, другое обозначение (если есть)
63	для изготовления крановых рельсов специальных профилей типов КР70, КР80, КР100, КР120, КР140, применяемых для путей грузоподъемных кранов.
76	Изготовление железнодорожных рельсов типов РП50, РП65 и РП75 для путей промышленного железнодорожного транспорта широкой колеи. Сталь углеродистая
76Т	Изготовление железнодорожных рельсов типов РП50, РП65 и РП75 для путей промышленного железнодорожного транспорта широкой колеи. Сталь углеродистая микролегированная

Продолжение таблицы 2

Материал	Применение, другое обозначение (если есть)
76Ф	Изготовление железнодорожных рельсов типов РП50, РП65 и РП75 для путей промышленного железнодорожного транспорта широкой колеи . Сталь углеродистая микролегированная
76Ц	Изготовление железнодорожных рельсов типов РП50, РП65 и РП75 для путей промышленного железнодорожного транспорта широкой колеи . Сталь углеродистая микролегированная
A1	для изготовления прокатанных и кованных заготовок квадратного или круглого сечения предназначенных для производства осей локомотивов, электропоездов, дизель- и электропоездов, вагонов железных дорог и вагонов метрополитена железных дорог.. Если по соглашению требуется сталь без термообработки (прокатка или ковка), то применяют обозначение стали А0 вместо А1.
A2	для изготовления прокатанных и кованных заготовок квадратного или круглого сечения предназначенных для производства осей локомотивов, электропоездов, дизель- и электропоездов, вагонов железных дорог и вагонов метрополитена железных дорог.
A3	для изготовления прокатанных и кованных заготовок квадратного или круглого сечения предназначенных для производства осей локомотивов, электропоездов, дизель- и электропоездов, вагонов железных дорог и вагонов метрополитена железных дорог.
A4	для изготовления прокатанных и кованных заготовок квадратного или круглого сечения предназначенных для производства осей локомотивов, электропоездов, дизель- и электропоездов, вагонов железных дорог и вагонов метрополитена железных дорог.
K63	для изготовления крановых рельсов
K76	для изготовления железнодорожных рельсов типа Р75, Р65, Р50. Способ выплавки - конвертерная сталь
K76Т	для изготовления железнодорожных рельсов типа Р75, Р65, Р50. Способ выплавки - конвертерная сталь
K76Ф	для изготовления железнодорожных рельсов типа Р75, Р65, Р50. Способ выплавки - конвертерная сталь
K78ХСФ	для изготовления железнодорожных рельсов типа Р75, Р65, Р50. Способ выплавки - конвертерная сталь
K86Ф	для изготовления железнодорожных рельсов типа Р75, Р65, Р50. Способ выплавки - конвертерная сталь
M54	для изготовления двухголовых объемно-закаленных в масле накладок, применяемых для стыковки соединений рельсов железных дорог широкой колеи
M68	Для изготовления рельсов контррельсовых типов РК75, РК65, РК50, применяемых в конструкциях верхнего строения пути с железнодорожными рельсами широкой колеи . Способ выплавки мартеновский
M73В	Для изготовления рельсов остряковых типов ОР75, ОР65, ОР50, применяемых в конструкциях верхнего строения железнодорожного пути . Способ выплавки мартеновский
M73Т	Для изготовления рельсов остряковых типов ОР75, ОР65, ОР50, применяемых в конструкциях верхнего строения железнодорожного пути . Способ выплавки мартеновский

Окончание таблицы 2

Материал	Применение, другое обозначение (если есть)
М73Ц	Для изготовления рельсов острьяковых типов ОР75, ОР65, ОР50, применяемых в конструкциях верхнего строения железнодорожного пути . Способ выплавки мартеновский
М74	для изготовления железнодорожных рельсов типа Р50
М74Т	для изготовления железнодорожных рельсов типа Р50
М74Ц	для изготовления железнодорожных рельсов типа Р50
М76	для изготовления железнодорожных рельсов типа Р75, Р65, Р50. Способ выплавки - мартеновская сталь
М76В	для изготовления железнодорожных рельсов типа Р75, Р65
М76ВТ	для изготовления железнодорожных рельсов типа Р75, Р65
М76Т	для изготовления железнодорожных рельсов типа Р75, Р65, Р50. Способ выплавки - мартеновская сталь
М76Ф	для изготовления железнодорожных рельсов типа Р75, Р65, Р50. Способ выплавки - мартеновская сталь
М76Ц	для изготовления железнодорожных рельсов типа Р75, Р65
Н50	для изготовления рельсов, предназначенных для укладки на железных дорогах узкой колеи.
ОС	для изготовления прокатанных заготовок квадратного или круглого сечения предназначенных для производства осей локомотивов, электропоездов, дизель- и электропоездов, вагонов железных дорог и вагонов метрополитена железных дорог колеи 1520 мм
ПТ70	для изготовления рельсов, предназначенных для укладки на железных дорогах узкой колеи.
СтальГОСТ5257-98	Изготовление бандажей для подвижного состава трамвая . В ГОСТ 5257-98 приведен хим. состав стали, но не указано ее обозначение
Т60	для изготовления рельсов, предназначенных для укладки на железных дорогах узкой колеи.
Э76	для изготовления железнодорожных рельсов типа Р75, Р65, Р50. Способ выплавки - электросталь
Э76Т	для изготовления железнодорожных рельсов типа Р75, Р65, Р50. Способ выплавки - электросталь
Э76Ф	для изготовления железнодорожных рельсов типа Р75, Р65, Р50. Способ выплавки - электросталь
Э78ХСФ	для изготовления железнодорожных рельсов типа Р75, Р65, Р50. Способ выплавки - электросталь
Э86Ф	для изготовления железнодорожных рельсов типа Р75, Р65, Р50. Способ выплавки - электросталь

Выводы:

1. Рельсовые стали равномерно распределяют испытываемые нагрузки по всей длине полотна;
2. Рельсовые стали обеспечивают надежную поверхность для колес транспорта, помогая тому развивать и поддерживать высокую скорость передвижения;
3. Для железнодорожного полотна марка стали это 76 и 76Ф, с высоким содержанием углерода и с добавками ванадия (во втором случае).

Выплавляется в конвертерных и дуговых печах, с раскислением ферросилицием и алюминием, с последующей дефосфорацией и обновлением шлака, с вакуумной и термической обработкой. При таком подходе готовый прокат отличается высокой степенью чистоты и низкой склонностью к появлению изъянов.

Библиографический список

1. Гольдштейн М.И. Специальные стали: учебник для вузов [Текст] / М.И. Гольдштейн, Грачев С.В., Векслер Ю.Г.- М.: Metallurgy, 1985.- 408 с.
2. Падерин С.Н. Теория и расчеты металлургических систем и процессов [Текст]./ С.Н. Падерин, В.В. Филиппов.- М.: МИСиС, 2002.- 334 с.
3. Кудрин, В.А. Теория и технология производства стали: учебник для вузов [Текст] / Ю.В. Кряковский, А.Г. Шалимов. - М.: «Мир», ООО «Издательство АСТ», 2003. - 528 с.
4. Дефекты и качество рельсовой стали: Справ. изд./ В.В. Павлов, М.В. Темлянецв, Л.В. Корнева и др. – М.: Теплотехник, 2006 – 218 с.: ил.

УДК 669.715.017.16

ВОЗДЕЙСТВИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ

Полунин А.М., Ломиворотов Н.П., Юркина М.С.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Попова М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: alekandr2025@mail.ru*

Приведены результаты исследований влияния модифицирования сульфатом меди на микроструктуру, плотность и тепловое расширение заэвтектических силуминов с 20÷40 % кремния. Для изученных сплавов была проведена продувка расплава парами 3-7 %-ного водного раствора CuSO_4 в течение 5–15 минут при температуре 800–1100 °С с последующей кристаллизацией в алюминиевый кокиль и с имитацией жидкой штамповки.

Ключевые слова: алюминий, кремний, модифицирование, кристаллизация, структура, температурный коэффициент линейного расширения, плотность.

Тепловое расширение и плотность являются важными свойствами для изделий таких отраслей промышленности, как специальное приборостроение и двигателестроение. Основой легких сплавов с низким температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР, α) традиционно является система алюминий–кремний, причем кремния необходимо вводить не менее 20 % [1-4].

Обязательной технологической операцией при выплавке силуминов

является модифицирование, основной целью которого является повышение механических свойств сплавов за счет изменения параметров структуры: диспергирования и изменения морфологии структурных составляющих, а также более равномерного распределения их по объему слитка [5–8]. С целью измельчения кристаллов первичного кремния (КПК) и эвтектики, а также обеспечения необходимого комплекса физико-механических свойств разработаны многочисленные способы модифицирования высококремнистых алюминиевых сплавов. Например, известны способы модифицирования сплавов системы Al-Si, в которых с целью улучшения структуры их расплавы подвергают обработке газообразными веществами, солями, легкоразлагающимися твердыми веществами и нанопорошками [9, 10].

Целью настоящей работы являлось изучение модифицирующего действия продувки расплава парами водного раствора сульфата меди на микроструктуру и физические свойства сплавов алюминия с 20, 30 и 40% Si. Учитывали также влияние скорости охлаждения сплавов в процессе кристаллизации.

Сплавы выплавляли в печи шахтного типа с нагревателями из карбида кремния в алундовом тигле. В качестве шихты использовали алюминий марки А7, кремний Кр0 и технически чистый сульфат меди CuSO_4 (медный купорос). Шихтовый алюминий расплавляли, вводили в него кремний, после его полного расплавления проводили продувку расплава парами водного раствора CuSO_4 в течение 5–15 минут при температуре 800 – 1100 °С. По окончании обработки проводили заливку металла с разными скоростями кристаллизации: в алюминиевый кокиль (~ 20 °С/с) и между двумя массивными медными плитами – имитация жидкой штамповки (~ 100 °С/с), при этом температура заливки равнялась температуре обработки.

Из полученных слитков изготавливали образцы для металлографического и дилатометрического исследования. Изучение микроструктуры сплавов осуществляли с помощью оптического микроскопа *OLYMPUS GX-51* при увеличениях $\times 100$ и 200 . Микротвердость и плотность образцов определяли по стандартным методикам. ТКЛР определяли с помощью дифференциального оптического фоторегистрирующего дилатометра системы Шевенара в интервале температур испытания 50–450 °С, погрешность определения составляла $\pm 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Исследовано тепловое расширение сплавов Al–(20÷40) % Si до и после обработки расплава парами водного раствора сульфата меди. Установлено, что в низкотемпературном интервале испытания происходит снижение ТКЛР для всех изученных сплавов в среднем на 3–16 %. Наиболее существенное снижение ТКЛР наблюдается для сплава Al–40% Si: ТКЛР сплава обычного приготовления имеет среднее значение $\bar{\alpha}_{50-250} = 13,4 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, тогда как после обработки расплава $\bar{\alpha}_{50-250} = 11,5 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$.

Снижение ТКЛР в этом случае может быть обусловлено увеличением содержания меди в составе сплавов и развитием процессов старения в интервале 200–300 °С при охлаждении с температур кристаллизации. Повышение

значений ТКЛР в высокотемпературной области испытаний за счет обработки расплава не является определяющим, поскольку приборы при таких температурах не эксплуатируют.

Для достижения такого эффекта оптимальной является обработка 3÷7 %-ным водным раствором сульфата меди. Применение водного раствора с большей концентрацией приводит к большому количеству вредных паров.

Проведение обработки расплава меньше 5 минут и при температурах ниже 800 °С не обеспечивает нужного понижения ТКЛР по причине слабого усвоения CuSO_4 расплавом. Проведение обработки расплава больше 15 минут и при температурах выше 1100 °С приводит к развитию усиленного шлакообразования и, следовательно, к уменьшению выхода годного металла.

Обработка расплава 3%-ным водным раствором CuSO_4 способствует существенному измельчению структурных составляющих, особенно после высокоскоростной кристаллизации. На рис. 1 приведена микроструктура сплавов Al – 20% Si обычного приготовления (а) и после обработки парами водного раствора CuSO_4 (б), залитых в кокиль. Для сравнения представлена микроструктура тех же сплавов (б, г), залитых с высокой скоростью кристаллизации. Видно, что высокоскоростная кристаллизация способствует дополнительному измельчению кристаллов первичного кремния и формированию более равномерной структуры.

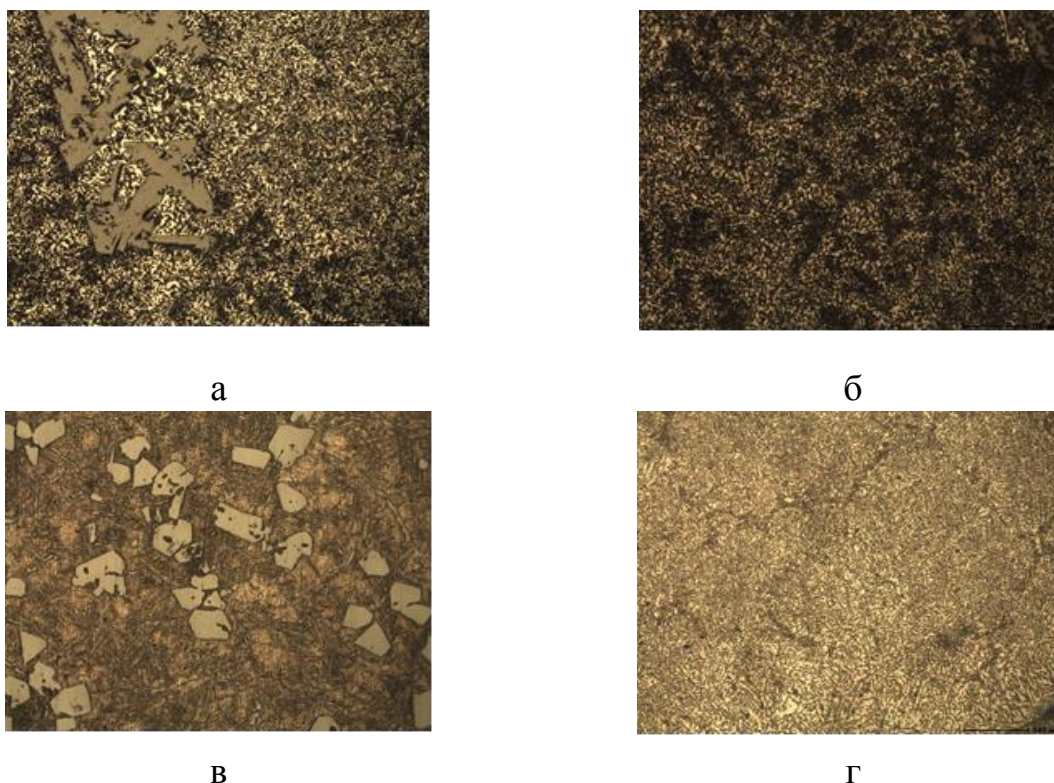


Рисунок 1 – Микроструктура сплава Al – 20% Si: а – без обработки, заливка в кокиль; б – без обработки, имитация жидкой штамповки, обработка парами водного раствора CuSO_4 , в – заливка в кокиль, обработка парами водного раствора CuSO_4 , г – имитация жидкой штамповки

Результаты определения микротвердости и плотности сплавов Al–(20÷40) % Si до и после обработки расплава и приведены на рис. 2. Как следует из приведенных данных, обработка расплава 3%-ным водным раствором CuSO₄ незначительно повышает микротвердость, но заметно снижает плотность по сравнению со сплавами обычного приготовления. Наиболее существенное уменьшение плотности наблюдается для сплава Al–40 % Si: у сплава обычного приготовления $\rho = 2,51 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, тогда как после обработки расплава $\rho = 2,44 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

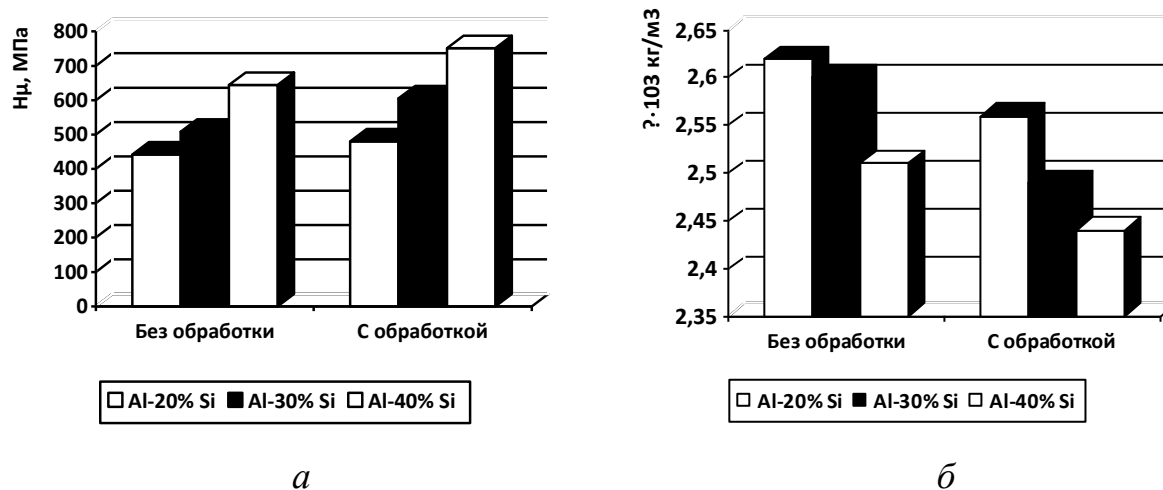


Рисунок 2 – Влияние обработки расплава парами водного раствора сульфата меди: а – микротвердость; б – плотность сплавов Al–Si

Уменьшение плотности сплавов на 3–6 % связано с тем, что в процессе продувки парами водного раствора сульфата меди водяной пар разлагается по реакции $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H} + \text{O}$, что приводит к насыщению расплава водородом и кислородом. В итоге после кристаллизации сплавов Al–Si образуется пересыщенный твердый раствор с повышенным содержанием элементов внедрения. Вторая составляющая модификатора – медь также входит в состав α -твердого раствора.

В результате проведенных исследований было установлено, что модифицирование сплавов Al–(20÷40) % Si путем обработки расплава парами водного раствора сульфата меди обеспечивает диспергирование всех структурных составляющих. Высокоскоростная кристаллизация модифицированных сплавов приводит к дополнительному измельчению кристаллов первичного кремния и образованию более равномерной структуры.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что обработка расплава парами водного раствора сульфата меди оказывает положительное влияние не только на микроструктуру, но также на величину ТКЛР, микротвердость и плотность сплавов Al–(20÷40) % Si. ТКЛР в интервале испытаний 50–250°C снижается на 3–16%, тогда как в интервале 300–450 °C наблюдается его увеличение. Кроме того, модифицирование CuSO₄ незначительно повышает микротвердость, но снижает плотность по сравне-

нию со сплавами обычного приготовления. С увеличением содержания кремния указанные изменения свойств проявляются наиболее заметно.

Библиографический список

1. Добаткин В.И. Гранулируемые алюминиевые сплавы / В.И. Добаткин, В.И. Елагин. – Москва : Металлургия, 1981. – 176 с.
2. Спеченные материалы из алюминиевых порошков / В.Г. Гопиенко, М.Е. Смагоринский, А.А. Григорьев, А.Д. Беллавин; под ред. Смагоринского М.Е. – Москва: Металлургия, 1993. – 320 с.
3. Polmear I. J. Light alloys: from traditional alloys to nanocrystals. – Amsterdam: Elsevier Ltd, 2005. – 421 p.
4. Афанасьев В.К. О влиянии кремния на тепловое расширение алюминия А7 / В.К. Афанасьев, А.В. Горшенин, М.В. Попова, А.Н. Прудников, М.А. Старостина // Металлургия машиностроения. – 2010. – № 6. – С. 23-26.
5. Строганов Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием / Г.Б. Строганов, В.А. Ротенберг, Г.Б. Гершман. – Москва: Металлургия, 1977. – 272 с.
6. Напалков В.И. Легирование и модифицирование алюминия и магния / В.И. Напалков, С.В. Махов. – Москва : МИСИС, 2002. – 376 с.
7. Афанасьев В.К. Новые способы обработки жидких сплавов алюминия с 30-50% кремния / В.К. Афанасьев, М.В. Попова // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2001. – № 2. – С. 29-31.
8. Кузнецов А.О. Модифицирование силуминов – разные подходы для одной системы легирования / А.О. Кузнецов, Д.А. Шадаев, В.Ю. Конкевич, С.Т. Бочвар, Т.М. Кунявская // Технология легких сплавов. – 2014. – №4. – С. 75–81.
9. Ушакова В.В. О влиянии обработки расплава на линейное расширение сплавов Al -20÷40% Si / В.В. Ушакова, М.В. Попова, З.А. Лузянина // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1995. – № 4. – С. 69.
10. Попова М.В. Наследственное влияние обработки шихты и расплава на терморасширение заэвтектических силуминов / М.В. Попова, А.А. Ружило // Литейное производство. 2000. – № 10. – С. 4-6.

УДК 669.716: 669.018.28

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СПЛАВА AL-11%SI

Юркина М.С., Полунин А.М., Ломиворотов Н.П.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Попова М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: yurkina_99@list.ru*

Изучено влияние модифицирования сульфатом меди и термической обработки на изменение параметров микроструктуры и микротвердость

структурных составляющих доэвтектического силумина Al–11%Si.

Ключевые слова: модифицирование, термическая обработка, силумин, микроструктура, микротвердость.

Для изучения влияния модифицирования расплава сульфатом меди и термической обработки на структуру и свойства сплава Al–11%Si проводили металлографические и дюрOMETрические исследования. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе Carl Zeiss AxioObserver Alm при увеличении 500. Исследование микротвердости проводили на микротвердомере 402 MVD.

Расплав обрабатывали сульфатом меди в количестве 0,2% (без выстаивания) и 1% без выстаивания и с выстаиванием в течение 1 часа при температуре 900°C. Затем производили заливку в холодный алюминиевый кокиль при температуре 850°C и 720°C соответственно.

Модифицирование способствует улучшению структуры благодаря тому, что модификаторы даже в малых концентрациях измельчают выделения первичного и эвтектического кремния. После модифицирования дендриты алюминия приобретают более тонкое строение. Такие структурные изменения приводят к получению более благоприятного комплекса свойств силуминов [1, 2].

Изменение структуры вследствие нагрева также оказывает влияние на физико-механические свойства силуминов [4].

В качестве способов термической обработки для силуминов широкое распространение получили закалка и старение. После закалки эти сплавы обладают высокими механическими свойствами, что связано с образованием пересыщенного твердого раствора легирующих компонентов в алюминии. В результате старения происходит распад пересыщенного твердого раствора и, следовательно, выделение промежуточных фаз в дисперсной форме [6].

Металлографический анализ сплава Al–11%Si позволил установить, что после обработки расплава 0,2% и 1% сульфата меди без выстаивания в его структуре кроме участков модифицированной эвтектики и дендритов твердого раствора наблюдается эвтектика игольчатого строения (рисунок 1).

Установлено также, что в результате обработки расплава 0,2% сульфата меди структура сплава Al–11%Si представляет собой дендриты α -твердого раствора и неравномерно модифицированную алюминиево-кремниевую эвтектику (рисунок 1, б). После повышения количества модификатора до 1% в структуре доэвтектического силумина преобладает эвтектика игольчатого строения (рисунок 1, в), кроме того, дендриты α -твердого раствора в некоторых областях структуры имеют более округлую форму (сфероидизированы) и меньшие размеры (рисунок 1, в).

После выстаивания при температуре 900°C в течение 1 часа расплава Al–11%Si, обработанного 1% CuSO₄, структура силумина представляет собой дендриты α -твердого раствора и перемодифицированную эвтектику (рисунок 1, г). Перемодифицирование структуры произошло вследствие

использования достаточно высокой температуры обработки расплава и длительного времени выстаивания.

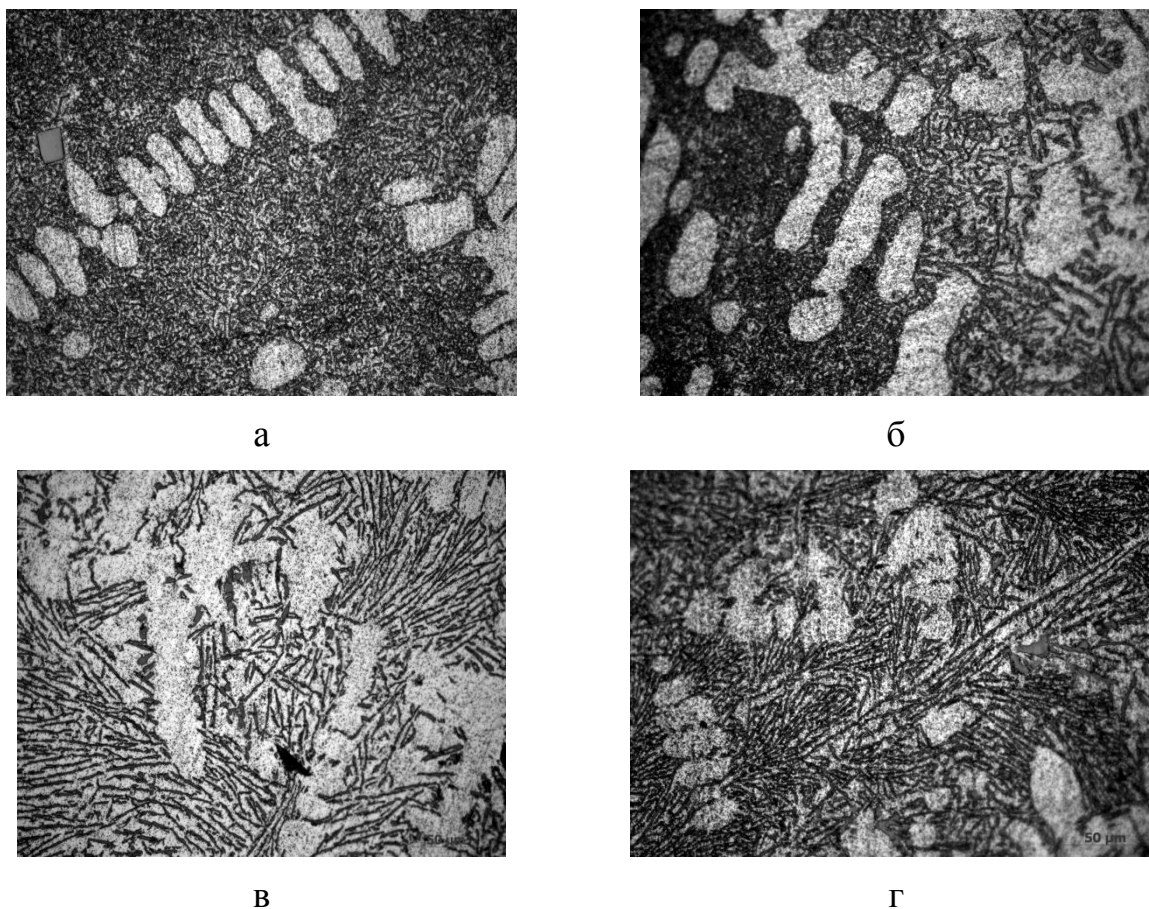


Рисунок 1 – Микроструктура сплава Al–11%Si (x 500): а – исходный, без обработки; б – обработка 0,2 % CuSO₄; в – обработка 1 % CuSO₄, без выстаивания расплава; г – обработка 1 % CuSO₄, с выстаиванием расплава

Результаты определения микротвердости структурных составляющих сплава Al–11%Si после обработки расплава по указанным режимам представлены в таблице 1. Установлено, что модифицирование сульфатом меди повышает микротвердость α-твердого раствора и эвтектики сплава Al–11 %Si.

Таблица 1 – Влияние обработки расплава сульфатом меди на микротвердость структурных составляющих сплава Al – 11%Si

Обработка расплава	Микротвердость (HV)		
	эвтектика		α-твердый раствор
	мелкодисперсная	игольчатого строения	
без обработки	66	–	47
0,2% CuSO ₄	68	69	57
1% CuSO ₄ (без выстаивания)	78	70	60
1% CuSO ₄ (с выстаиванием)	–	76	57

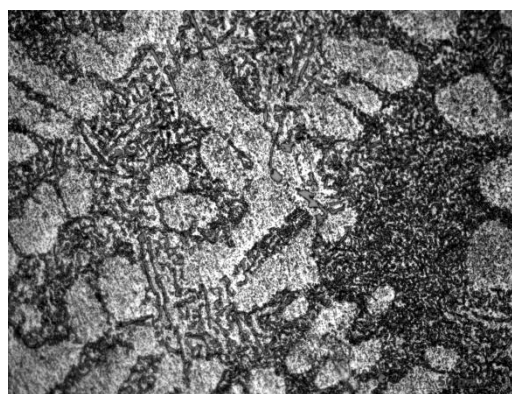
В результате проведения металлографического анализа термически обработанного сплава Al-11%Si установлено, что после закалки структура силумина представляет собой дендриты твердого раствора и неравномерно модифицированную алюминиево-кремниевую эвтектику (рисунок 2, б).



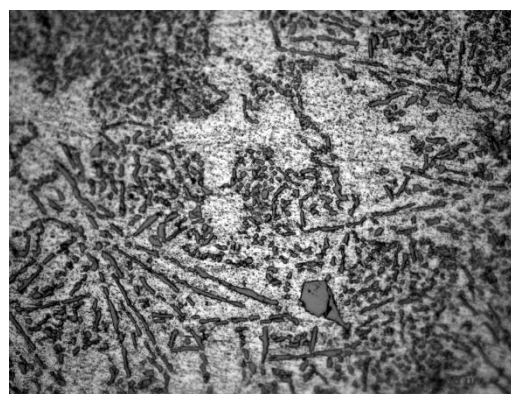
а



б



в



г

Рисунок 2 – Микроструктура сплава Al-11%Si(а, б, в, г) - х 500, е – х 200:
а – исходный (без термообработки); в – 250 °С, 10 часов; б – 550°С, 1 час,
закалка в воду; г – 550°С, 1 час + 250°С, 10 часов

В процессе нагрева силуминов при температуре выше 500°С происходит сфероидизация частиц кремния, что способствует повышению механических свойств [1].

В результате старения, так же, как и после закалки, наблюдается неравномерно модифицированная эвтектика и дендриты α -твердого раствора. Однако после термической обработки в структуре силумина наблюдаются участки «перемодифицированной» эвтектики (рисунок 2, в), что, по-видимому, связано с длительностью выдержки при старении. В результате закалки и последующего старения структура силумина представляет собой также неравномерно модифицированную эвтектику и дендриты твердого раствора (рисунок 2, г). Имеются участки эвтектики не только зернистого, но и игольчатого строения (рисунок 2, г).

В результате определения микротвердости установлено, что закалка и старение, проведенные отдельно, приводят к снижению микротвердости

структурных составляющих, а совместное их проведение повышает их микротвердость (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние термической обработки на микротвердость структурных составляющих сплава Al – 11%Si

Режим термической обработки	Микротвердость (HV)		
	эвтектика		α-твердый раствор
	модифицированная	иглочатого строения	
без термической обработки	66	–	47
550°C, 1 ч, закалка в воде	51	57	45
250°C, 10 ч, охл. на воздухе	64	62	43
550°C, 1 ч, вода + 250°C, 10 ч, воздух	68	75	49

Таким образом, в результате проведения исследований было установлено, что сульфат меди является эффективным модификатором эвтектики в сплаве Al–11%Si. В связи с этим модифицирование сульфатом меди и термическую обработку можно использовать в качестве способов улучшения структуры и свойств сплава Al–11%Si.

Библиографический список

1. Водород и свойства сплавов алюминия с кремнием / В.К. Афанасьев, И.Н. Афанасьева, М.В. Попова [и др.]. – Абакан: Хакасское кн. изд-во, 1998. – 192 с.
2. Производство алюминиевых сплавов: учеб. пособие / Г.В. Галевский, В.Б. Деев, Н.М. Кулагин [и др.]. – Москва: Флинта: Наука, 2006. – 288 с.
3. Мальцев М.В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов / М.В. Мальцев. – Москва : Металлургия, 1970. – 364 с.
4. Строганов Г.Б. Высокопрочные литейные алюминиевые сплавы / Г.Б. Строганов. – Москва : Металлургия, 1985. – 216 с.
5. Силумины. Атлас микроструктур и фрактограмм промышленных сплавов: справочное издание/ А.Г. Пригунова, Н.А. Белов, Ю.Н. Таран [и др.]. – Москва : МИСИС, 1996. – 175 с., ил.
6. Металловедение алюминия и его сплавов: справочное издание / А.И. Беляев, О.С. Бочвар, Н.Н. Буйнов [и др.]. – Москва : Металлургия, 1983. – 280с., ил.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СВАРКИ ПОД НОВЫМ МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩИМ ФЛЮСОМ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ИЗ СТАЛИ 09Г2С

Гусева Д.А.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Попова М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: dasha1998_98@bk.ru*

В данной работе представлены основные результаты исследования влияния энерго-технологических режимов сварки под флюсом, изготовленным из шлака производства силикомарганца, на механические свойства (временное сопротивление разрыву, предел текучести, относительное удлинение, ударная вязкость) сварного шва, полученного при автоматической сварке проволокой Св-08ГА низколегированной стали 09Г2С.

Ключевые слова: сварка, сварочный флюс, техногенные отходы, шлак силикомарганца, временное сопротивление разрыву, предел текучести, относительное удлинение, ударная вязкость, механические свойства, сварное соединение.

Одной из важнейших проблем государственного значения является локальное производство сварочных материалов из ресурсов РФ, поскольку существуют трудности в производстве номенклатуры сварочных материалов в России. Причиной этих трудностей является то, что сварочные компоненты, находятся в странах ближнего и дальнего зарубежья, что приводит к истощению исходного сырья в России, ухудшению его качества и удорожанию сварочных материалов. Локальное производство сварочных материалов из сырья РФ обусловлено также устойчивым развитием важнейших отраслей промышленности, на которое не повлияют внешние воздействия, от необоснованных высоких цен на импортные сварочные материалы до санкций конкретных секторов промышленности.

Целью данной работы является исследование влияния энерго-технологических режимов сварки под флюсом, изготовленным из шлака производства силикомарганца, на физико-механические свойства сварного шва, полученного при автоматической сварке проволокой Св-08ГА низколегированной стали 09Г2С под данным флюсом.

Для проведения сварочных работ на сегодняшний день высокий спрос имеют сварочные флюсы, изготовленные на основе оксидов марганца типа АН-67, АН-348А, АН-39С [1-3]. В условиях СибГИУ проведен ряд работ по использованию в качестве аналогов таких сварочных флюсов шлака производства силикомарганца [4-9]. При этом существенное влияние на качественные показатели сварного шва оказывают режимы сварки.

Для изучения влияния сварочно-технологических режимов на механи-

ческие свойства сварного шва был изготовлен сварочный флюс на основе шлака производства силикомарганца с химическим составом, масс. %: 0,42 FeO, 16,22 MnO, 29,00 CaO, 41,34 SiO₂, 6,53 Al₂O₃, 1,33 MgO, 0,24 S, 0,022 P, 0,008 ZnO, 0,031 C, 0,31 F, 0,15 TiO₂, 0,025 Cr₂O₃. Проведенные ранее исследования [10-11] показали, что для данных флюсов наиболее приемлемым является использование фракции 0,45-2,5мм. Для сварки были использованы пластины из стали 09Г2С толщиной 20мм.

Исследованы различные режимы сварки, обеспечивающие необходимую глубину провара и отсутствие внешних дефектов (пор, трещин, раковин). За основу был взят режим со следующими параметрами: сила тока I= 700А, напряжение U= 28В, скорость сварки v= 30 см/мин. Параметры режимов сварки представлены в таблице 1.

Таблица 1- Режимы сварки образцов

Номер эксперимента	Погонная энергия Дж/см	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость сварки, см/мин
0	36000	600	28	28
1	33750	600	30	32
2	38400	600	32	30
3	34125	650	28	32
4	39000	650	30	30

Химический состав металла сварных швов, выполненный рентгенофлюоресцентном методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71, приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав используемого флюса

Образец	Mn	Ni	Al	Mo	Si	P	Cu	S	Ti	Cr	C
0	1,16	0,31	0,009	0,10	0,041	0,014	0,15	0,014	0,002	0,05	0,11
1	1,24	0,43	0,012	0,14	0,48	0,016	0,16	0,013	0,01	0,05	0,07
2	1,38	0,28	0,018	0,08	0,54	0,014	0,17	0,014	0,003	0,06	0,08
3	1,31	0,32	0,014	0,10	0,51	0,013	0,15	0,014	0,001	0,06	0,08
4	1,20	0,45	0,013	0,16	0,49	0,015	0,17	0,011	0,002	0,05	0,08

При отработке технологии получения сварных соединений с пониженной газонасыщенностью определяли концентрацию кислорода и азота в металле сварного шва по ГОСТ 17745 – 90 «Стали и сплавы. Методы определения газов».

Для проведения анализа изготавливали не менее трех образцов. Перед проведением анализа проводили очистку образцов с последующим травлением в соляной кислоте, разбавленной в соотношении 1:3. Результаты исследования газонасыщенности исследованных образцов представлены в табл. 3

Полученные результаты указывают на рост концентрации азота N и кислорода (свободного O и связанного в соединениях O_{св}) с ростом силы тока и на снижение этих показателей при увеличении напряжения, при этом скорость сварки слабо влияет на газонасыщенность металла сварного шва.

Таблица 3 – Содержание кислорода и азота в металле сварного шва

Образец	Содержание, %					
	N	O	O _{св}	Силикаты	Алюминаты	Алюмосиликаты кальция, силикаты кальция, магниевые шпинели
0	0,092	0,0132	0,1167	0,05234	0,06185	0,00251
1	0,096	0,0130	0,1175	0,05801	0,05614	0,00335
2	0,087	0,0119	0,0973	0,04656	0,04783	0,00291
3	0,087	0,0121	0,0965	0,04635	0,0482	0,00213
4	0,087	0,0132	0,0964	0,04054	0,05425	0,00161

Механические свойства исследуемых образцов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Механические свойства сварных швов

Образец	Временное сопротивление разрыву σ_B , МПа	Предел текучести, σ_T МПа	Относительное удлинение δ , %	KCV +20°С	KCV -20°С
0	576	482	21	$\frac{68*}{63-75**}$	$\frac{22,3*}{20-26**}$
1	563	470	21	$\frac{59,6}{49-81}$	$\frac{20,3}{15-31}$
2	582	481	22	$\frac{64,3}{60-69}$	$\frac{20,6}{17-25}$
3	560	430	21	$\frac{66,3}{52-77}$	$\frac{32}{27-35}$
4	570	459	21	$\frac{59,33}{56-62}$	$\frac{30}{27-32}$

Выводы:

1. Проведенные исследования показали, что энерго-технологические режимы сварки влияют на содержание кислорода и азота в металле сварного шва. Концентрация азота и кислорода (свободного и связанного в соединениях) увеличивается с ростом силы тока и снижается при увеличении напряжения, при этом скорость сварки слабо влияет на газонасыщенность металла сварного шва.

2. Опыты показали, что в процессе сварки наибольшее количество сформированных оксидных включений находится в виде алюминатов, затем следуют силикаты и алюминаты кальция, силикаты кальция, магниевые шпинели, при этом общие тенденции влияния силы тока, напряжения и скорости сварки сохраняются

3. По результатам проведенных исследований установлено положительное влияние использования в качестве флюса шлак производства силикомарганца на механические свойства сварного шва. Все образцы имеют высокие показатели механических свойств, что в свою очередь указывает на хорошие сварочные свойства изучаемого флюса.

Библиографический список

1. Айматов, В. Г. Исследование влияния добавки барий-стронциевого модификатора на свойства сварочного флюса на основе шлака силикомарганца / В. Г. Айматов, А. Р. Михно ; науч. рук. Н. А. Козырев // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13-15 июня 2018 г. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2018. – Вып. 22. – Ч. 2 : Естественные и технические науки.– С. 202–205.
2. Усольцев А. А. Теоретические и технологические представления о возможности использования сварочных флюсов на основе шлака производства силикомарганца / А. А. Усольцев, С. В. Князев, А. Р. Михно // Общество – наука – инновации : сборник статей по итогам Всероссийской научно-практической конференции, Иркутск, 22 декабря 2019 г. – Стерлитамак : АМИ, 2019. – Ч. 1. Технические науки. – С. 84–86
3. Козырев Н.А. Влияние газонасыщенности на физико-механические свойства сварного шва, выполненного под флюсом, изготовленным из шлака, получаемого при производстве силикомарганца / Н. А. Козырев, А. А. Усольцев, Р. Е. Крюков, А. Р. Михно, Р. А. Шевченко. – DOI 10.32339/0135-5910-2020-10-1043-1050 // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2020. – Т. 76, № 10. – С. 1043–1050.
4. Козырев Н.А. Разработка новых сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца / Н.А. Козырев., Р.Е. Крюков., А.А. Усольцев., А.Р. Михно, Л.П. Бащенко.// Сварка и контроль –2018: материалы международной научно-технической конференции, посвященной 130-летию изобретения Н.Г. Славяновым электродуговой сварки плавящимся электродом, 18-21 сентября 2018 г. – Пермь, 2018. – С. 168–182. – Библиогр.: с. 179.
5. Козырев Н.А., Выбор энерго-технологических режимов сварки под флюсом, изготовленным из шлака производства силикомарганца для деталей горношахтного оборудования / Н.А. Козырев., А.А. Усольцев, Р.Е. Крюков, А.Р. Михно // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : научный журнал. – 2020. – № 6. – С. 175–180.
6. Козырев Н.А. Влияние введения добавок во флюсы, изготовленные из ковшевого электросталеплавильного шлака / Н.А. Козырев., А.Р. Михно., Р.Е. Крюков., А.Н. Калиногорский., Л.П. Бащенко // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2019. – Т. 62. № 8. – С. 606 – 612.
7. Влияние введения добавок углерода и фтора во флюсы, изготовленные из шлака силикомарганца / Р.Е. Крюков Н.А., Козырев., А.Р. Михно., Л.П. Бащенко., А.Н. Калиногорский // Изв. вуз. Черная металлургия. 2020. Т. 63. № 1. С. 34 – 39.
8. Крюков Н.Е. Производство новых сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца. / Крюков Н.Е., О.Е. Козырева., Р.Е. Крюков., Н.А. Козырев., А.А. Усольцев // Сварочное производство. 2017. №5. с.42-48.
9. Козырев Н.А. Разработка новых сварочных флюсов на основе

шлака силикомарганца / Н.А. Козырев, Р.Е. Крюков, А.А. Усольцев и др. // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 6 (1422). С. 55–66.

10. Козырев Н.А.. Разработка новых порошковых проволок для наплавки. Порошковая проволока на основе пыли газоочистки силикомарганца / Н.А. Козырев., Р.Е. Крюков., А.С. Непомнящих., А.А., Усольцев., М.В. Попова (научная статья) печатн. //Черная металлургия. – 2018. – № 9 (1425). – С. 101-107.

11. Козырев Н.А. Сварочный флюс на основе барий-стронциевого модификатора и шлака силикомарганца/ Н.А. Козырев., А.Р. Михно., А.А. Усольцев., Р.Е. Крюков., М.В. Попова (материалы научной конференции) печатн. // Металлургия: технологии, инновации, качество: сборник трудов XXI Международной научно-практической конференции. В 2-х частях / под ред. Е.В. Протопопова. – 2019. – С. 322-328.

УДК 621.768.011

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛИЧЕСКОЙ КОВКИ НА СВОЙСТВА СТАЛИ 10

Закирова Ш.К.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Прудников А.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: a.prudnikov@mail.ru*

Изучено влияние циклической ковки на физико-механические свойства стали 10. Показано, что использование термоциклической ковки для низкоуглеродистой стали позволяет повысить ее прочностные характеристики на 30 % при сохранении достаточного уровня пластичности. Изменение физических свойств стали (H_C , ТКЛР) не превышает 8 %.

Ключевые слова: сталь, циклическая ковка, структура, механические и физические свойства, коэрцитивная сила

Известно, что деформационная термоциклическая обработка ДТЦО часто используется для средне- и высокоуглеродистых сталей, чугунов, цветных сплавов [1-7]. Значительно реже используются режимы ДТЦО для улучшения структуры и свойств низкоуглеродистых сталей, в том числе и физических свойств [6, 7-11]. Поэтому целью работы явилось исследование воздействия режима циклической ковки на структуру и свойства листовой стали 10.

Для исследования была выбрана сталь 10, содержащая в % (вес.): углерода 0,13, кремния 0,22, марганца 0,42, серы 0,018, фосфора – 0,014. Циклическую ковку сляба (900×700×500 мм) проводили методом однопроходной протяжки на гидравлическом ковочном прессе усилием 20 МН в ОАО ЗСМК (г. Новокузнецк). Перед каждым циклом ковки заготовки нагревали и выдерживали

вали 2 ч при 1250 °С, после окончания цикла деформации заготовки охлажда-ли на воздухе до 200 – 300 °С. Количество циклов ковки составляло – 10. Тех-нологические параметры ковки по циклам приведены в таблице 1. После окончания термоциклической ковки высота поковки составляла 300÷310 мм. В дальнейшем заготовки были прокатаны на стане 810 по промышленной технологии на лист толщиной 3 мм. Более подробно технологический режим изготовления листа с использованием ДТЦО приведен в работе [7].

Таблица 1 – Параметры термоциклической ковки заготовок из стали 10сп

Цикл	$T_{\text{ков.}}^{\text{H}}, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{ков.}}^{\text{K}}, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$S_{\text{H}}, \text{ мм}$	$S_{\text{K}}, \text{ мм}$	$K_{\text{п}}$
1	1250	1100	500×700	500×655	1,069
2	1250	1100	500×655	470×655	1,063
3	1250	1100	470×655	470×615	1,065
4	1250	1100	470×615	440×615	1,068
5	1250	1100	440×615	440×575	1,069
6	1250	1100	440×575	415×575	1,060
7	1250	1100	415×575	415×540	1,065
8	1250	1050	415×540	390×540	1,064
9	1250	1050	390×540	390×505	1,069
10	1250	1050	390×505	365×505	1,069

Примечание: $T_{\text{ков.}}^{\text{H}}$, $T_{\text{ков.}}^{\text{K}}$ – температура начала и окончания ковки; S_{H} , S_{K} – размеры поперечного сечения заготовки начальные и после ковки; $K_{\text{п}}$ – коэффициент уковки в цикле p ; общий коэффициент уковки $K_{\text{общ.}} = 1,90$

Для исследования микроструктуры стали использовали оптический микроскоп OLYMPUS-GX51F. Механические характеристики определяли при испытании на статическое растяжение плоских образцов на машине Instron 3369 в соответствии с ГОСТ1497 – 84.

Металлографический анализ образцов из стали 10, прокатанной по промышленной технологии и с использованием режимов ДТЦО показал, использование предварительной циклической ковки перед горячей прокаткой листа позволяет существенно измельчить структуру стали 10. Максимальный размер колоний перлита в листе толщиной 3 мм снижается от 22×60 до 7×19 мкм, а их средний размер уменьшается почти в 3 раза от 20±2 до 7±2 мкм (рисунок 1).

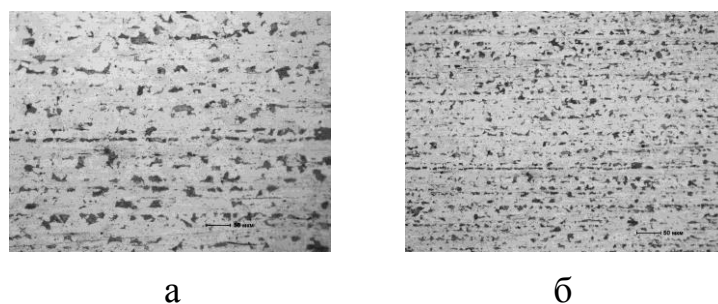


Рисунок 1 – Микроструктура горячекатаной листовой стали 10 (толщина 3 мм), изготовленной по промышленной технологии (а) и с использованием предварительной циклической ковки (б)

Предварительная термоциклическая ковка, вызывающая измельчение структуры, повышает прочностные характеристики (временное сопротивление разрыву – σ_B , предел текучести – σ_T) листовой горячекатаной стали 10 почти на 30 %. При этом происходит снижение пластичности (δ и Ψ) в среднем на 7-9 % (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние ДТЦО на механические характеристики листовой горячекатаной стали 10

Режим	Механические характеристики				
	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	Ψ , %	Твердость, НВ
промышленный	370	305	26	42	127
с ДТЦО	478	390	24	38	170

Таблица 3 – Влияние ДТЦО на физические свойства листовой горячекатаной стали 10

Режим	Физические свойства			
	Коэрцитивная сила, Н _С , А/м	ТКЛР, $\alpha \cdot 10^6$, град ⁻¹ в интервале температур, °С		
		50-150	50-300	50-450
промышленный	214	10,7	12,1	13,3
с ДТЦО	232	11,3	12,5	13,2

Такое изменение структуры стали приводит к некоторому повышению коэрцитивной силы (около 8 %) связано с увеличением протяженности границ зерен, являющихся барьерами для протекания процессов намагничивания и перемагничивания в материале.

Изменения ТКЛР в различных температурных интервалах носит более сложный характер. Можно отметить, что в низкотемпературной области до 300 °С ТКЛР стали 10, изготовленной с использованием ДТЦО, незначительно возрастает на 3 – 5 %. Однако далее в интервале до 450 °С средние значения коэффициентов выравниваются (таблица 3).

Таким образом, показано, что использование термоциклической ковки для низкоуглеродистой стали позволяет повысить ее прочностные характеристики на 30 % при сохранении достаточного уровня пластичности. Изменение физических свойств стали (Н_С, ТКЛР) не превышают 8 %.

Библиографический список

1. Prudnikov A.N. Hardening low carbon steel 10 by using of thermalcyclic deformation and subseautent heat treatment// A.N. Prudnikov, V.A. Prudnikov // Materials science. Nonequilibrium pahse transformations. – 2016. – № 4. – pp. 10-13.
2. Патент 20130084 РФ Способ термоциклической обработки чугуна / В.В. Афанасьев, Н.В. Чибряков, А.Н. Прудников и др, – Заявл. 07.07.1998. – Оpubл. 10.05.1999. – Б. И. № 13. – С. 455.
3. Прудников А.Н. Комплексное воздействие отжигов и термоциклической ковки на структуру и свойства заэвтектических силуминов // Деформация и разрушение материалов.– 2014.– № 2.–С.14 - 20.

4. Прудников А.Н. Структурно-технологические основы разработки прецизионных силуминов с регламентированным содержанием водорода / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.16.09 / НГТУ, Новосибирск, 2013. – 40 с.

5. Прудников А.Н. Поршневые деформируемые заэвтектические силумины // Технология металлов.– 2014.– № 2.– С. 8 - 11.

6. Федюкин В.К. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин/ В.К. Федюкин, М.Е. Смагоринский – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989.– 255 с.

7. Прудников А.Н. Технология производства, структура и свойства поршней двигателей из заэвтектического деформируемого силумина // Изв. ВУЗов. Черная металлургия.– 2009.– № 5.– 45-48.

8. Прудников А.Н. Оценка воздействия термоциклической деформации и последующей термической обработки на электрофизические свойства низкоуглеродистой стали / А.Н. Прудников, В.А. Прудников и др. // Актуальные проблемы в машиностроении: – 2015.– №2.– С. 396 - 400.

9. Прудников А.Н. Влияние термической обработки на электрические свойства низкоуглеродистой стали, изготовленной с использованием ДТЦО / А.Н. Прудников, В.А. Прудников // Инновации в машиностроении: Сб. материалов VII Межд. науч.-практ. конф.– Кемерово: КГТУ, 2015.– С. 377 - 380.

10. Прудников А.Н. Влияние термоциклическойковки и последующего отжига на коэрцитивную силу и линейное расширение стали 10 / А.Н. Прудников, В.А. Прудников // Актуальные проблемы в машиностроении: – 2016.– №3.– С. 451 - 456.

11. Prudnikov A.N. Influence of Thermal-Cyclic Deformation and Hardening Heat Treatment on the Structure and Properties of Steel 10 // A.N. Prudnikov, V.A. Prudnikov // Applied Mechanics and Materials. – 2015.– Vol. 788. – pp. 187-193.

УДК 669.715(043)

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ ПОРШНЯ ИЗ СПЛАВА АК21

Зокирова Г.К.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Прудников А.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: a.prudnikov@mail.ru*

Исследовано влияние нагрева и выдержки при 100-500 °С на микроструктуру и фазовый состав поршня двигателя ЯМЗ 5363 из заэвтектического силумина АК21. Установлено, что коагуляция и сфероидизация эвтектического и первичного кремния, а также растворение фазы CuAl_2 начинаются

и проходят наиболее интенсивно при 450-500°C.

Ключевые слова: поршень, структура, заэвтектический силумин, фазовый состав, эвтектика, кристаллы первичного кремния

Для тяжелонагруженных двигателей внутреннего сгорания наиболее часто используют легированные заэвтектические силумины. При производстве поршневых отливок из заэвтектических силуминов для уменьшения вредного влияния КПК на их свойства используют модифицирование расплава [1-5]. Одним из важных факторов улучшения структуры и свойств заэвтектических силуминов является термическая обработка [5-8]. Рациональный выбор технологии термической обработки и ее параметров позволяет существенно улучшить уровень механических и эксплуатационных свойств заготовок и деталей [7,9,10]. Для определения оптимальных параметров (температуры и времени выдержки) в различных видах обработки (отжиг, закалка, старение) необходимо знать те изменения структуры силуминов, которые при этом происходят. Поэтому целью работы являлось исследование структуры, фазового состава, определение параметров решеток α -Al и β -Si после термической обработки в сплаве АК-21, используемого для производства поршней ДВС.

В качестве объекта исследования был выбран поршень двигателя ЯМЗ 5363 автомобиля серии МАЗ 5550. Химический состав поршня был определен на эмиссионном спектрометре ARL 3460 и включал следующие химические элементы в % (вес.) Si – 22,1; Cu – 2,91; Mg – 0,64; Mn – 0,08; Ni – 1,23; Cr – 0,26; Fe – 0,49; Ti – 0,08; Al – ост. В сравнении с составом сплава АК21М2,5Н2,5 (ГОСТ 1583-93) отмечается занижение содержания Ni, Mn и незначительное превышение Mg, что обусловлено требованиями ТУ предприятия. Образцы, вырезанные из юбки поршня, подвергали термической обработке в электропечи СНОЛ-1,6.2,5.1/9-ИЗ по следующим режимам : нагрев и выдержка в течение 1 и 10 ч при 100 и далее через 50 °С до 500 °С с охлаждением на воздухе. Для проведения качественного фазового анализа использовали дифрактометр ДРОН-2,0. Дифрактограммы опытных образцов снимали в железном- K_{α} – излучении с использованием Mn-фильтра. Ускоряющее напряжение на трубке составляло 30 кВ, ток анода – 20 мА. Металлографический анализ проводили с помощью оптического микроскопа Лабомет-И1 при увеличениях 150 и 500.

Микроструктура поршня в исходном состоянии и после нагрева и выдержки в течение 1 ч и 10 ч с охлаждением на воздухе приведена на рисунке 1. В структуре поршня в исходном состоянии присутствуют основные структурные составляющие – кристаллы первичного β -кремния (КПК), эвтектика (Al + Si), а также небольшое количество фазы $CuAl_2$ и дисперсные выделения фаз $Al_xMg_5Cu_4Si_4$, Al_6Cu_3Ni , располагающихся по границам зерен α -твердого раствора алюминия (рисунок 1, а). Причем часть твердого раствора алюминия присутствует в виде дендритов, характеризующих

литую структуру металла. Нагрев образцов в течение 1 ч при температуре 100-500 °С к значительным изменениям в структуре сплава не приводит.

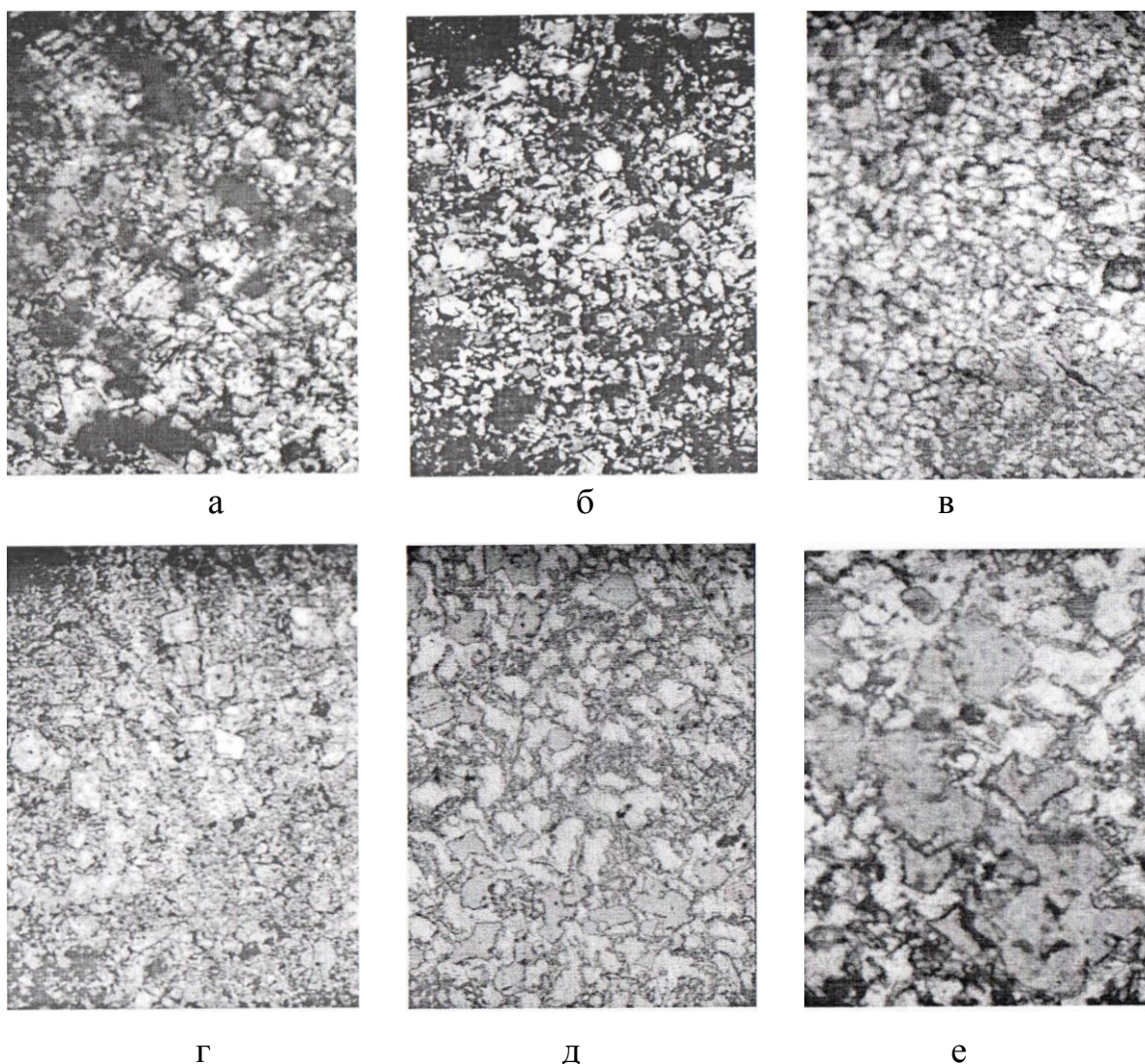


Рисунок 1 – Влияние температуры нагрева и выдержки с охлаждением на воздухе на микроструктуру поршня из сплава типа АК21: а – без нагрева; б – 300 °С, 1 ч; в – 500 °С, 1 ч; г – 300 °С, 10 ч; д и е – 500 °С, 10 ч; а, б, в, г, д – $\times 150$; г – $\times 500$.

Можно отметить, что для высоких температур 450-500 °С α -твердый раствор теряет свое дендритное строение, а также происходит растворение фазы CuAl_2 и начинаются процессы коагуляции эвтектического кремния (рисунок 1, в). Выдержка в течение 10 ч для этих температур усиливает процессы коагуляции кремния в эвтектике и сфероидизации КПК. При этом средний размер КПК практически не изменяется по сравнению с исходным состоянием сплава и составляет 30÷50 мкм. Увеличивается средний размер эвтектического кремния до нескольких микрометров, который приобретает округлую форму. Результаты рентгенофазового анализа подтверждают выводы металлографических исследований, фиксируя наличие фазы CuAl_2 в исходном образце и после нагревов и выдержек при низких температурах.

На дифрактограммах образцов, обработанных при 450 и 500 °С, присутствуют пики характерные только для фаз α -Al и β -Si. При растворении частиц фазы CuAl_2 атомы меди, образуя твердый раствор замещения, должны несколько уменьшить параметр решетки α -Al, так как радиус атома меди меньше радиуса атома алюминия ($r_{\text{Cu}} = 0,127$ нм; $r_{\text{Al}} = 0,143$ нм). Поэтому был проведен рентгеноструктурный анализ и определен параметр решетки α -Al в исходном состоянии и после нагревов при 450 и 500 °С. Установлено, что в исходном состоянии параметр решетки α -Al составляет 0,40497 нм. После термообработки при 450 °С параметр решетки практически не изменяется ($\pm 0,00001$ нм), а при 500 °С уменьшается до 0,40488 нм. Наличие сложных фаз с Cu и Ni из-за их малой объемной доли и погрешности рентгенографического метода не установлены. Однако при больших увеличениях микроскопа некоторое количество дисперсных выделений этих фаз хорошо видны по границам и телу зерна α -Al (рисунок 1, е).

Таким образом установлено, что в поршне из сплава АК21 нагрев и выдержка при 450-500 °С с охлаждением на воздухе приводит к коагуляции кремния в эвтектике и сфероидизации КПК. Рентгенофазовым анализом подтверждено полное растворение избыточной фазы CuAl_2 , образовавшейся при отливке поршневых заготовок.

Библиографический список

1. Prudnikov A.N. Production, structure and properties of engine pistons made from transeutectic deformable silumin// A.N. Prudnikov // *Steel in Translation*. – 2009. – Т. 39. – № 5. – С. 391-393.
2. Афанасьев В.К. Модифицирование бинарного заэвтектического силумина / В.К. Афанасьев, А.Н. Прудников // *Изв. ВУЗов. Черная металлургия*. – 1999. – № 10. – С. 33-35.
3. Напалков В.И. Непрерывное литье алюминиевых сплавов / В.И. Напалков, Г.В. Черепок, С.В. Махов и др. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005. – 512 с.
4. Патент 2102514 РФ Способ модифицирования заэвтектических силуминов / В.В. Афанасьев, А.Н. Прудников, В.В. Ушакова и др. – Заявл. 09.01.1996. Опубл. 20.01.1998. – Б.И. № 2. – С. 290.
5. Прудников А.Н. Исследование комплексного модифицирования заэвтектических силуминов с содержанием кремния 20...30 % фосфидами и оксидами некоторых металлов / А.Н. Прудников // *Изв. ВУЗов. Цветная металлургия*. – 1995. – № 2. – С. 38-41.
6. Прудников А.Н. Разработка состава и исследование структуры и свойств поршневого деформируемого заэвтектического жаропрочного силумина // А.Н. Прудников // *Изв. ВУЗов. Черная металлургия*. – 2009. – № 6. – С. 25-28.
7. Прудников А.Н. Структурно-технологические основы разработки прецизионных силуминов с регламентированным содержанием водорода /

Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.16.09 / НГТУ, Новосибирск, 2013. – 40 с.

8. Прудников А.Н. Совершенствование термической обработки поршневых деформируемых силуминов с добавками фосфора и водорода // А.Н. Прудников // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2009. – № 1. – С. 8-11.

9. Прудников А.Н. Термическая обработка поршневых силуминов для снижения их линейного расширения и улучшения эксплуатационных параметров двигателя // А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Черная металлургия. – 2004. – № 4. – С. 40-42.

10. Прудников А.Н. Усовершенствование способов термической обработки поршневых алюминиевых сплавов / В сб.: Металлургия: реорганизация, управление, инновации, качество. – Новокузнецк, изд-во СибГИУ, 2003. – С. 108-111.

11. Гаврилов А.И. Разработка комплексной технологии обработки сплава АК21М2,5Н2,5 с целью получения дизельных поршней с повышенным ресурсом работы // Автореферат дис. канд. техн. наук. – МИСиС, – 1992.

12. Прудников А.Н. Технология производства, структура и свойства поршней двигателей из заэвтектического деформируемого силумина // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 2009. – № 5. – С. 45-48.

УДК 669.715: 621.74.047

СТРУКТУРА СЛИТКА ПОЛУНЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ИЗ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА

Рексиус В.С.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Прудников А.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: a.prudnikov@mail.ru*

Исследованы макро- и микроструктура слитков полунепрерывного литья диаметром 165 мм из бинарного заэвтектического силумина с содержанием кремния 20 %. Установлено, что макроструктура отличается неоднородностью распределения эвтектических колоний (Al+Si), участков и дендритов α -твердого раствора. Показано, что в поперечном сечении слитка формируются периферийная, промежуточная и центральная зоны, отличающиеся по количеству, размерам и распределению КПК, а также строению эвтектики.

Ключевые слова: силумин, слиток, полунепрерывное литье, структура, кристаллы первичного кремния, эвтектика.

Работ, выполненных в области технологии производства, формирования структуры и свойств слитков из заэвтектических силуминов выполнено недостаточно. Несмотря на это, можно отметить некоторые из них в области

исследования структуры слитков из силуминов их механических и физических свойств [1-6], оптимизации технологических параметров литья, разработки новых технологических решений при литье слитков [7-10]. В связи с этим целью работы являлось изучение формирования структуры и свойств слитков полунепрерывного литья, из двойного силумина с содержанием кремния 20 %.

Слитки из заэвтектического силумина изготавливали полунепрерывным способом в промышленных условиях ОАО «СМК» (г. Ступино). Сплав Al-20 % Si готовили в печи сопротивления в графитошамотном тигле вместимостью 60 кг. В качестве шихтовых материалов использовали технически чистый силумин Сил 0 и кремний Кр1. После приготовления расплава в печи при 820÷880 °С и съема шлака с зеркала металла, его сливали в миксер емкостью 150 кг. Слитки отливали на машине полунепрерывного литья ПН-2 с дюралюминиевым кристаллизатором скольжения диаметром 165 мм со скоростью литья 77 мм/мин при 750÷770 °С. Макро- и микроструктуру изучали на темплетях, вырезанных из донной части слитков на расстоянии 100 мм от их дна с использованием оптического микроскопа ЛабоМет-1И. Для определения механических характеристик слитков использовали цилиндрические образцы, изготовленные по ГОСТ 1497 – 84, с диаметром рабочей части 6 мм. Результаты испытаний усредняли по всему сечению слитка.

В работе проведено исследование макро- и микроструктуры слитков полунепрерывного литья и их свойств из бинарного заэвтектического силумина с содержанием кремния 20 %.

Характерной особенностью макроструктуры заэвтектического силумина является отсутствие зоны столбчатых кристаллов (рисунок 1), что положительно сказывается на технологичности слитков при горячей деформации. Однако по всему сечению слитка наблюдается неоднородность макроструктуры, связанная с наличием участков повышенной травимости с эвтектической структурой, и светлых областей с увеличенной объемной долей α -твердого раствора.

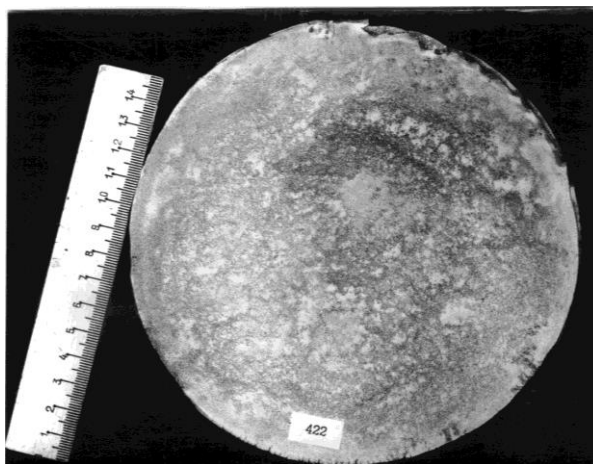


Рисунок 1 – Макроструктура слитка полунепрерывного литья из сплава Al - 20% Si

При изучении микроструктуры в поперечном сечении слитка можно выделить несколько зон, которые кристаллизуются с различной интенсивностью охлаждения: поверхностную, периферийную, промежуточную и центральную. Указанные зоны отличаются по количеству, размерам и распределению первичных кристаллов кремния и дендритов α -твердого раствора, а также по морфологии и степени модифицирования эвтектики. Поверхностная зона, затвердевающая при непосредственном контакте со стенками кристаллизатора, как правило, мала по размерам (1÷5 мм) и обычно удаляется при механической обработке слитков. Поэтому эта зона участие в формировании свойств полуфабрикатов не принимает и нами не рассматривается. Характеристики микроструктуры различных зон слитков приведены в таблице, а на рисунке 3 показана микроструктура этих зон.

При анализе структуры зон слитка выявлено, что наименьшие размеры КПК присутствуют в периферийной зоне (среднее значение 90 мкм), что, очевидно, связано с повышенной скоростью охлаждения по сравнению с другими зонами, расположенными ближе к центру слитка. Однако на эвтектический кремний градиент скорости охлаждения существенно не повлиял. Во всех зонах эвтектика (Al+Si) остается слабо- или размодифицированной. Пониженная скорость охлаждения центральных слоев слитка по сравнению с остальными зонами способствует некоторому огрублению структуры в центре слитка: увеличиваются размеры первичного и эвтектического кремния, а также, зачастую, присутствует эвтектика пластинчатого или игольчатого типа (рисунок 2).

Таблица – Характеристики микроструктуры слитков полунепрерывного литья из сплава Al-20 % Si

Зона слитка	Характеристики микроструктуры	
	Размер КПК, мкм	Эвтектика
Периферийная	80-100	Размодифицированная
Промежуточная	130-150	Слабомодифицированная, участками модифицированная
Центральная	100-170	Слабомодифицированная

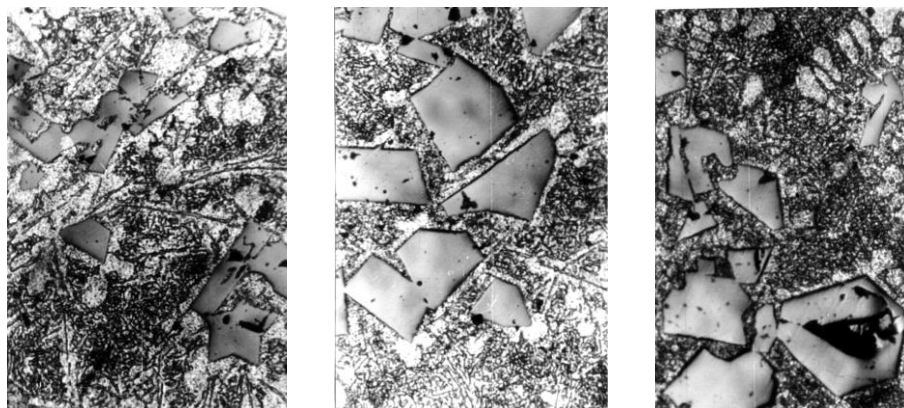


Рисунок 2 – Микроструктура слитка полунепрерывного литья из сплава Al - 20 % Si: а, б и в – периферийная, промежуточная и центральная зоны; $\times 100$

Такой результат воздействия способа полунепрерывного литья на структуру слитка диаметром 165 мм говорит о необходимости использования модифицирования как первичного, так и эвтектического кремния для повышения технологической пластичности.

Результаты определения механических характеристик слитков из заэвтектического силумина показали, что усредненная величина временного сопротивления разрыву σ_B по сечению слитка составляет 88 МПа, а относительное удлинение δ – 1,5 %. Перспективой улучшения механических свойств слитков являются процессы модифицирования структуры и последующей горячей обработки давлением.

Выводы:

1. Макроструктура по поперечному сечению слитка отличается неоднородностью распределения эвтектических колоний (Al+Si) и участков и дендритов α -твердого раствора.

2. Установлено, что в поперечном сечении слитка полунепрерывного литья из заэвтектического силумина формируются периферийная, промежуточная и центральная зоны, отличающиеся между собой по количеству, размерам и распределению КПК, а также строению эвтектики.

Библиографический список

1. Прудников А.Н. Структурно-технологические основы разработки прецизионных силуминов с регламентированным содержанием водорода / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.16.09 / НГТУ, Новосибирск, 2013. – 40 с.

2. Прудников А.Н. Структура и свойства жаропрочного силуминового поршня // А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Черная металлургия.– 2009.– № 8.– С. 28-30.

3. Prudnikov A.N. Production, structure and properties of engine pistons made from transeutectic deformable silumin// A.N. Prudnikov // Steel in Translation. – Т. 39. – № 5. – С.391-393.

4. Heshmatpour B. Modification of Silicon in Eutectic and Hyper-Eutectic Al-Si Alloys // B. Heshmatpour //Essential Readings in Light Metals.– 2016 – Vol 3 – №3 – pp. 425-432.

5. Прудников А.Н. Поршневые деформируемые заэвтектические силумины / А.Н Прудников // Технология металлов.– 2014.– № 2.– С. 8 - 11.

6. Turbalioğlu K. The improvement of the mechanical properties of AA 6063 aluminum alloys produced by changing the continuous casting parameters // K. Turbalioğlu, Y. Sun // Scientific Research and Essays.– 2011. –Vol. 6 (13).– pp. 2832-2840.

7. Афанасьев В.К. Модифицирование бинарного заэвтектического силумина / В.К. Афанасьев, А.Н. Прудников // Изв. ВУЗов. Черная металлургия.– 1999.– № 10.– С. 33-35.

8. Прудников А.Н. Формирование структуры заэвтектического силумина при литье слитков полунепрерывным способом / А.Н. Прудников, В.А.

Прудников // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017.– Т. 4 – № 3.– С. 78-83.

9. Prudnikov A.N. Deformable heatproof transeutectic silumin for pistons // A.N. Prudnikov // Steel in Translation. – Т. 39. – № 6. – С.456-459.

10. Jorstad J. Hypereutectic Al-Si alloys: practical casting considerations // J. Jorstad, Apelian D. // International Journal of Metalcasting.– 2009.– Vol. 3.– № 3.– pp 13–36.

11. Напалков В.И. Непрерывное литье алюминиевых сплавов / В.И. Напалков, Г.В. Черепок, С.В. Махов и др. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005. – 512 с.

12. Белов М.В. Об изготовлении слитков из поршневого заэвтектического силумина методом полунепрерывного литья // М.В. Белов, В.Д. Белов, Э.Б. Тен // Изв. ВУЗов. Цветная металлургия.– 2005.– № 5.– С. 30-33.

УДК 669.046.444

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДАВАЕМОГО ВОЗДУХА НА ПРОЦЕСС АГЛОМЕРАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ

Сафонов С.О., Пушкина Е.И., Дида Н.И., Лопатина А.О.

Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Протопопов Е.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: sergey.safonov.1950@mail.ru,
katya_seva99@mail.ru, nikitadida@gmail.com, olegovvna@bk.ru*

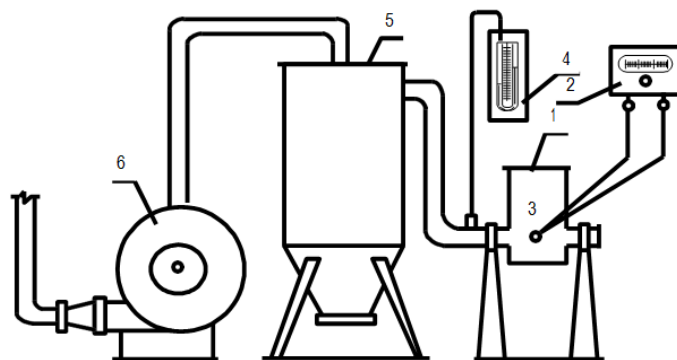
Проведены экспериментальные исследования влияния температуры подаваемого воздуха на процесс окускования железорудного сырья. Получен эффект в повышении интенсивности процесса спекания и повышения выхода годного агломерата.

Ключевые слова: Агломерация, агломерационная чаша, кокс, концентрат, воздух, подогрев, газопроницаемость.

В настоящее время металлургическая промышленность стремится к снижению выбросов парниковых газов и повышению КПД агрегатов. Одним из путей снижения выбросов диоксида углерода, является снижение количества топлива в процессе. В черной металлургии наибольшее количество выбросов образуется агло-доменном переделе при производстве чугуна. В данной работе фокус был направлен на агломерационный процесс. Снижения количества применяемого топлива в процессе спекания можно достичь путем нагрева шихта или путем нагрева воздуха поступающего в процесс [1].

Эксперименты проводились на лабораторной установке – агломерационной чаше (рисунок 1).

Состав шихтовых материалов процесса агломерации приведен в таблице 1.



1 – аглочаша; 2 – милливольтметр; 3 – штуцер для термопары; 4 – манометр;
5 – пылеуловитель; 6 – эксгаустер

Рисунок 1 – Схема лабораторной агломерационной чаши

Таблица 1 – Состав шихтовых материалов процесса

Материал	Масса, кг	Содержание, %
Концентрат Коршуновского горно-обогатительного комбината	1,539	42,10
Известняк	0,174	4,76
Кокс для шихты	0,170	4,65
Возврат	1,161	31,76
Влага	0,211	5,77
Кокс для зажигания	0,100	2,73
Постель (возврат)	0,300	8,20

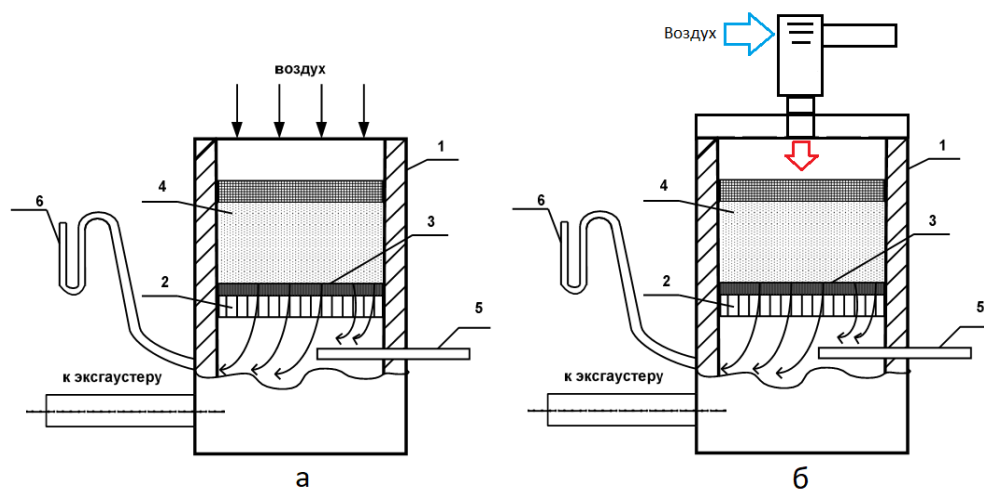
Технология ведения процесса:

1. Постель равномерно высыпается в аглочашу;
2. Концентрат, известняк, кокс для шихты, возврат смачиваются и смешиваются в смесителе;
3. После смешения шихта загружается в барабанный окомкователь;
4. Полученные окатыши загружаются в аглочашу;
5. На окатыши загружается кокс для зажигания и смачивается 100 мл керосина;
6. Зажигание горючей смеси и ее горение 1 минуту;
7. Включение эксгаустера на минимальную мощность 1 минута;
8. Включение эксгаустера на максимальную мощность до завершения процесса агломерации;
9. Каждую минуту производить замер температуры отходящих газов и давления;
10. Отключение эксгаустера в момент начала снижения температуры отходящих газов, выгрузка агломерата и его взвешивание;
11. Загрузка агломерата на установку для сброса агломерата, сброс агломерата с целью дробления;
12. Отсев сброшенного агломерата ситом 8 мм;
13. Взвешивание отсеянного агломерата фракции 8-25 мм.

Подогрев воздуха осуществлялся строительным феном, минимальная температура воздуха 350°C, а максимальная 450°C. Пространство между шихтой и строительным феном герметизировано стальной пластиной с асбестовыми шнурами. Схема спекания железорудного сырья в агломерационной чаше приведена на рисунке 2.

Эксперимент проводился в несколько этапов:

1. Опытные спекания на установке с постоянным сырьем;
2. Проведение спеканий с подачей горячего воздуха температурой 623К;
3. Проведение спеканий с подачей горячего воздуха температурой 723К.



а – работа установки без подогрева воздуха, б – работа установки с подогревом воздуха
1 – чаша; 2 – колосниковая решетка; 3 – постель; 4 – шихта; 5 – термопара; 6 – манометр

Рисунок 2 – Схема спекания в лабораторной чаше

Фотографии полученного агломерата и установки приведены на рисунке 3.

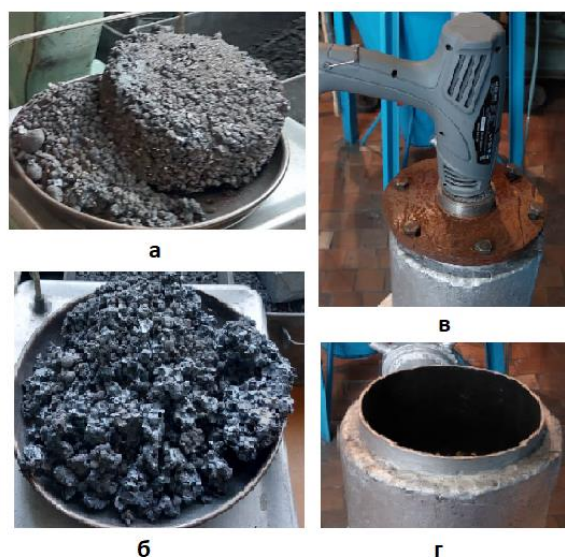
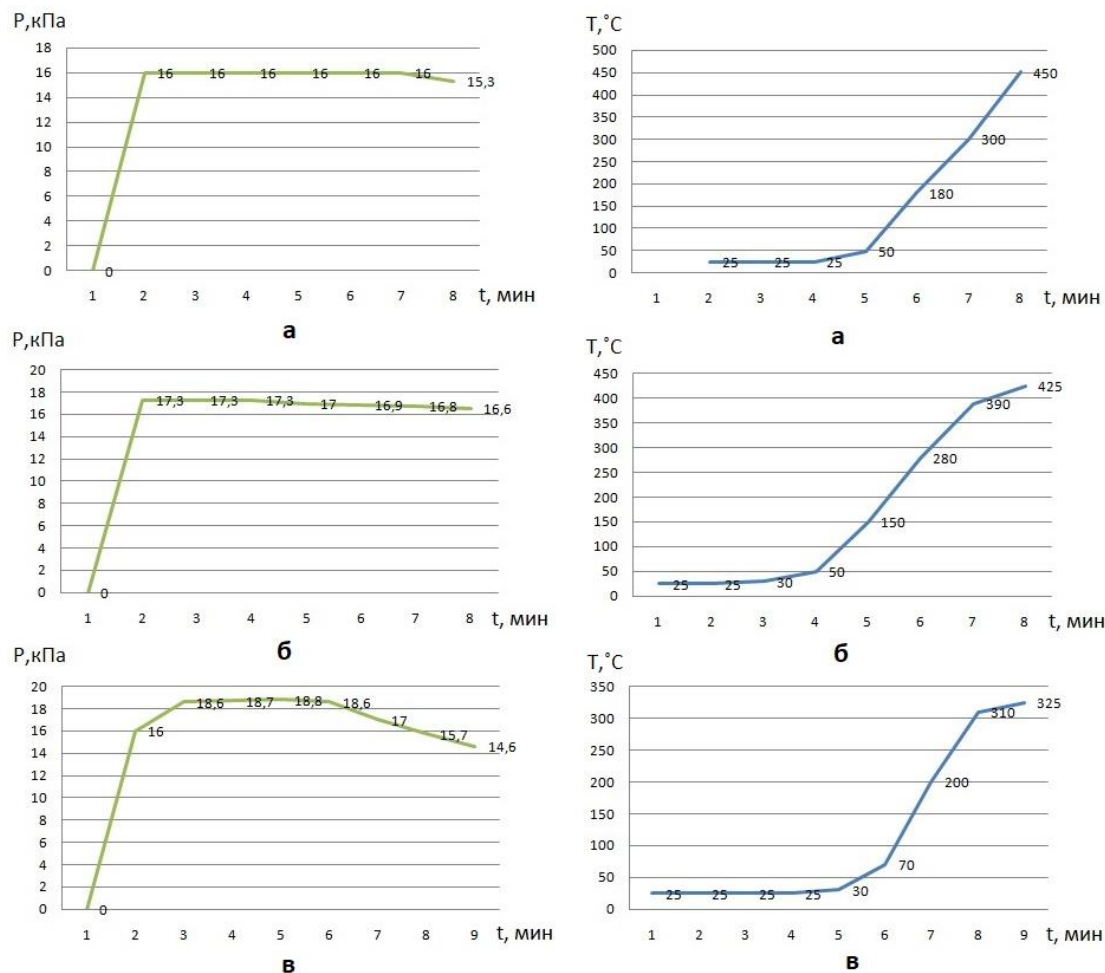


Рисунок 3 – Агломерат (а,б) и установка (в – с подогревом воздуха, г – без подогрева воздуха)

Измеряемые на установке показатели Р и Т агломерации менялись в зависимости от времени работы установки (рисунок 4), процесс агломерации начинался в момент начала роста температуры отходящих газов и заканчивался в момент начала падения температуры отходящих газов [2].



а – зависимости давления и температуры отходящих газов от времени агломерации при температуре подаваемого воздуха 450°C, б - зависимости давления и температуры отходящих газов от времени агломерации при температуре подаваемого воздуха 350°C, в - зависимости давления и температуры отходящих газов от времени агломерации при температуре подаваемого воздуха 25°C

Рисунок 4 – Графики показателей процесса агломерации

Разница в показателях давления отходящих газов обусловлена разной газопроницаемостью шихтовых материалов. Чем выше газопроницаемость шихты, тем интенсивнее ведется подача окислителя к коксу, тем самым и быстрее протекает процесс агломерации. Повышение температуры воздуха до 450 °C дает повышение интенсивности процесса агломерации на 11%. Выход годного агломерата без подогрева составил 69,3 %. Выход годного агломерата с подогревом воздуха до 350 °C составил 72,1%. Выход годного агломерата с подогревом воздуха до 450 °C составил 70,2%. Прямой зависимости влияния температуры воздуха на качество агломерата не выявлено.

Газопроницаемость шихты наиболее решающий фактор для формирования качественного агломерата [3].

Установлено, что повышение температуры воздуха влияет на давление отходящих газов, температуру отходящих газов, скорость спекания шихты и выход годного агломерата.

Библиографический список

1. Анализ энергосберегающих технологий выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи/ С.О. Сафонов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2020. – С. 273 – 276.

2. Технологии интенсификации кислородно-конвертерного процесса / С.О. Сафонов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2021. – С. 177-180.

3. Общая металлургия / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев - М: ИКЦ Академкнига, 2002. - 768 с.

УДК 662.749.3

ПОТЕРИ БЕНЗОЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ: ПРИЧИНЫ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО УСТРАНЕНИЮ

Яковлева Д.Д.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ширяева Л.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru*

В данной работе рассмотрены основные причины потерь бензольных углеводородов при поглощении жидкими поглотительными маслами. Предложены мероприятия по уменьшению потерь бензольных углеводородов и улучшению технологии.

Ключевые слова: потери бензольных углеводородов, сырой бензол, поглотительное масло, обратный кокосовый газ.

Извлечение из коксового газа бензольных углеводородов необходимо, в основном, из-за значительной ценности для народного хозяйства, в особенности, собственно бензола, на долю которого приходится 80-90 % от их массы. Бензол и его гомологи применяются в производстве красителей, пластмасс, пестицидов, взрывчатых веществ, лекарств, химических волокон, входят в состав топлива, которое используется в двигателях внутреннего сгорания. Поэтому очистка коксового газа без потерь бензольных углеводородов, несет в себе большое значение не только в технологической части, но и экономической.

Один из самых распространенных способов улавливания бензольных углеводородов из коксового газа является – абсорбция бензольных углеводородов поглотительным маслом при атмосферном давлении.

Улавливание бензольных углеводородов данным способом производится с скрубберах. При таком улавливание в поглотительном масле растворяются поры бензола. Насыщенное бензолом масло после охлаждения поступает в бензольное отделение, где из него при помощи продувки острым паром выделяется поглощенный сырой бензол [1].

При обработке прямого коксового газа в аппаратуре цеха улавливания из него выделяются основные химические продукты коксования, и образуется очищенный коксовый газ. Он называется обратным, потому что часть его подаётся на обогрев коксовых печей, как бы возвращается обратно. Обратный коксовый газ состоит в основном из неконденсирующихся в обычных условиях компонентов, а также остатков сероводорода, бензольных углеводородов, углеводородов непредельного ряда, незначительных количеств оксидов азота. Обратный коксовый газ можно использовать как для промышленных, так и для бытовых целей. Им можно отапливать коксовые батареи и металлургические печи: сталеплавильные, нагревательные в прокатных цехах. Состав обратного коксового газа приведен в таблице 1.

Таблица – 1 Состав обратного коксового газа [3]

Компонент	Содержание, %
Водород	57-62
Метан	23-27
Непредельные углеводороды	2-3
Окись углерода	5-8
Азот	2-4
Двуокись углерода	1,8-3,0
Кислород	0,4-0,8

Для качественного улавливания бензольных углеводородов из газа требуется соблюдать определенные условия [2]:

- 1) минимальное содержание бензола в масле, поступающем на орошение скрубберов;
- 2) низкая температура улавливания;
- 3) достаточное количество масла;
- 4) противоток масла и газа;
- 5) достаточная поверхность орошения насадки для создания необходимого контакта между газом и маслом.

Несмотря на то, что взаимосвязь всех этих факторов и значение каждого из них имеет для производства самое существенное, аналитическое выражение этой взаимосвязи до сих пор не разработано таким образом, что бы оно было достаточным удобным для пользования. Это объясняется множественностью факторов, влияющих на процесс улавливания, а так же сложным характером зависимости последнего от этих факторов.

И.И. Рузиным предложена формула, которая характеризует зависимость между всеми технологическими факторами, влияющими на улавливание бензольных углеводородов в скруббере [2]:

$$y_1 = \frac{(kx_0 - lx_0 + ky_0) \cdot e^{\frac{\alpha S(k-D)}{l}} - kx_0}{k \cdot x_0 \frac{\alpha S(k-D)}{l} - l} \quad (1)$$

где y^0 и y^1 – концентрация бензольных углеводородов в прямом и обратном коксовом газе, г/м³;

x^0 – концентрация бензольных углеводородов в масле, подающемся в скруббер для улавливания;

l – удельный расход поглотителя, кг/м³ газа час;

S – норма насадки, м²/м³ газа в час,

$$S = \frac{f}{V};$$

f – общая поверхность насадки скрубберов, м²;

V – количество газа, м³/час;

α – коэффициент абсорбции, м/час;

k – константа $\left(\frac{M \cdot P_0}{2.24\pi}\right)$, где M – средний молекулярный вес поглотителя;

P_0 – упругость паров бензольных углеводородов над маслом, атм;

π – абсолютное давление газа в скруббере, атм;

e – основание натуральных логарифмов (2,303).

Таким образом, эта формула выражает зависимости потерь бензольных углеводородов с обратным газом от основных производственных факторов – нормы насадки, удельного расхода поглотителя, концентрации бензольных углеводородов в масле, поступающими на скрубберы, температура масла и тд.

Вследствие этого на практике качественное улавливание затрудняется тем, что с повышением температуры улавливания давление паров бензола над маслом увеличивается, движущая сила абсорбции уменьшается, а равновесная концентрация бензольных углеводородов в газе после скрубберов увеличивается. Насыщение поглотительного масла бензолом снижается, а потери их с газом увеличиваются. В промышленности оптимальной температурой улавливания считается 25 - 30 °С. При температуре ниже 10 °С вязкость поглотительного масла резко возрастает, что затрудняет его подачу на скруббер и равномерное распределение по насадке скруббера, что резко ухудшает процесс улавливания. При этой температуре из масла могут выпадать осадки, которые загрязнят насадку и увеличат сопротивление скруббера. Так же увлечение может быть вызвано недостаточной поверхностью орошения, когда газ проходит скруббер «напрямую».

В связи с этим можно сделать вывод, что для уменьшения потерь ароматических углеводородов следует контролировать соблюдение технологического процесса, качество поглотительного масла, поступающего на улавливание, а так же работоспособность агрегатов.

Библиографический список

1. Харлампович Г.Д. Производство и использование ароматических углеводородов / Г.Д. Харлампович, В.З. Соколов - М., 1980. – 336 с.
2. Коляндр, Л.Я. Улавливание и переработка химических продуктов коксования / Л.Я Коляндр - Харьков: 1962. – 467 с.
3. Бородович А.И. Этилен коксового газа как сырьё для органического синтеза / А.И.Бородович – М., 1963.
4. Лазорин С.Н. Производство сырого бензола / С.Н. Лазорин, Е.Я.Стеценко – М., 1992.

УДК 662.749.3

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ АБСОРБЦИИ БЕНЗОЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ КОКСОВОГО ГАЗА

Яковлева Д.Д.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Ширяева Л.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: kafcmet@sibsiu.ru*

В данной работе рассмотрены основные способы улавливания бензольных углеводородов. Выведены основные проблемы методов улавливания ароматических углеводородов при очистке коксового газа: поглощение жидкими поглотительными маслами и твердыми, метод «вымораживания».

Ключевые слова: ароматические углеводороды, сырой бензол, поглотительное масло, скруббер.

Круг потребителей ароматических углеводородов весьма широк. Разнообразные требования к качеству исходного сырья, определяющиеся как спецификой различных отраслей промышленности, так и, в определенной мере, сложившимися традициями. Ароматические углеводороды получают как из угля, так и из нефти. При этом бензольные углеводороды получают преимущественно из нефтяного сырья, несмотря на абсолютные объёмы производства коксохимического бензола.

Технологические процессы получения ароматических углеводородов из нефтяного и коксохимического сырья весьма различны. Коксохимическое сырьё представляет собой в основном смесь ароматических углеводородов. И его переработка заключается в разделении смеси и отделение ароматических углеводородов от небольших количеств непредельных и сернистых соединений. В основу технологических процессов производства ароматических углеводородов из коксохимического сырья положены физические методы ректификация и кристаллизация. Химические методы применяют только для отделения небольших количеств примесей, от которых не удаётся из-

бавиться ректификацией [1].

Смесь газов и паров, образующихся при коксовании поступают в цех улавливания коксохимического завода. Бензольные углеводороды сосредотачиваются в «каменноугольной смоле» и «сыром бензоле». Каменноугольной смолой называют смесь органических соединений, конденсирующихся при охлаждении парогазовой смеси (прямого коксового газа) до 30-35 °С при атмосферном давлении. Сырой бензол – ароматические углеводороды, оставшиеся в газе в виде паров после конденсации смолы и извлекаемые из газа абсорбцией органическими поглотителями. В сыром бензоле содержится преимущественно бензол и его гомологи, а в каменноугольной смоле – би- и полициклические углеводороды и гетероциклические соединения.

В отечественной промышленности бензольные углеводороды улавливаются различными способами.

«Вымораживание» бензольных углеводородов. Коксовый газ под давлением охлаждается в несколько ступеней до -45 °С, при этом бензольные углеводороды конденсируются и удаляются из газа. Данный способ отличается от последующих тем, что улавливание углеводородов происходит при низких температурах и высоком давлении. Чтобы при нормальном давлении достигнуть полного или близкого к полному выделения паров бензольных углеводородов из коксового газа, необходимо понижать температуру до минус 70°С. Чтобы достигнуть полного или почти полного, выделения бензола из газа при температуре 30 °С, потребуется давление свыше 1000 атм. Практически на таких установках для выделения бензольных углеводородов из коксового газа применяют одновременно и пониженные температуры и повышенные давления. В этом случае процесс ограничивается температурами минус 40-45° С и давлениями 12-13 атм [3].

Преимуществом данного способа является то, что сырой бензол, получаемый этим методом, по своему качеству значительно чище сырого бензола, получаемого на установках с жидкими поглотителями, и не содержит сольвент-нафты. Бензол получается светлый, с отгоном 96 % до 180 °С. Содержание бензола в коксовом газе после установки составляет 1 г/м³.

Недостатками данного способа то что применять такие высокие давления как 1000атм или такие низкие температуры как минус 70 °С только для целей выделения бензола из газа неэкономично. Этот метод улавливания широкого применения пока не получил вследствие высокого расхода энергии на сжатие газа и высокого содержания в коксовом газе различных веществ, которые при охлаждении выделяются в твёрдом виде и засоряют аппаратуру. Это вызывает необходимость устанавливать резервные аппараты и постоянно переключать работающие аппараты на резервные. Всё это сильно удорожает установку.

Адсорбция бензольных, углеводородов твердыми поглотителями. В качестве твердых поглотителей для улавливания бензольных углеводородов из коксового газа нашли практическое применение активированные угли, имеющие наиболее развитую внутреннюю поверхность. Количество

адсорбируемых из газа бензольных углеводородов зависит от свойств угля и условий протекания процесса, в первую очередь от парциального давления паров и температуры. В качестве твердого поглотителя применяется активированный уголь, обладающий мелкопористой структурой и сильно развитой поверхностью (1 г активированного угля имеет поверхность до 800 м²). При пропускании газа через слой активированного угля пары бензольных углеводородов задерживаются в порах последнего до тех пор, пока не наступит насыщение угля бензолом, которое может достигать до 20 % без уменьшения его поглотительной способности [2].

Данный способ имеет преимущество в том, что при нем достигается более полное извлечение из газа бензольных углеводородов и значительно снижается содержание в газе цианидов, окислов азота и сераорганических соединений.

К недостаткам адсорбционного метода можно отнести большое сопротивление адсорберов прохождению газа и периодичность процесса. Так же Опыт работы показал, что адсорбционная способность активированного угля о процессе эксплуатации снижается примерно с 20 до 5%, после чего уголь нужно заменять свежим. При регенерации угля его адсорбционная способность почти полностью восстанавливается, но срок дальнейшей работы уменьшается. Следует отметить, что в результате лучшего улавливания активированным углём сераорганических соединений их концентрация в сыром бензоле увеличивается на 30—40%. Применение активированного угля для улавливания бензольных углеводородов требует глубокой предварительной очистки газа от сероводорода и смолистых веществ. Поэтому выбор метода обусловлен в основном требуемой очисткой газа. При потреблении его для бытовых нужд требуется глубокая очистка от сероводорода, нафталина и других примесей.

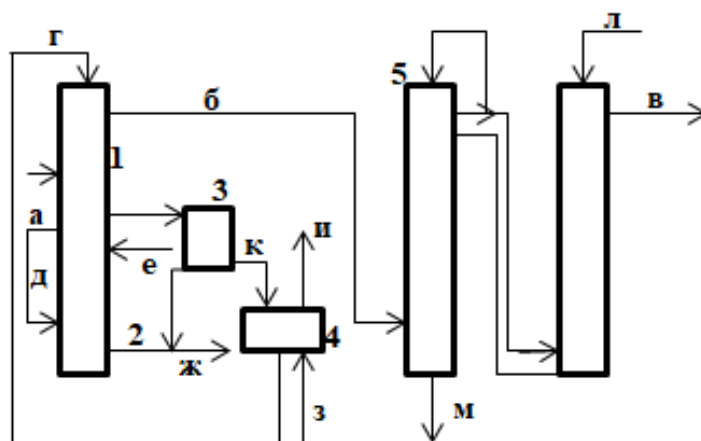
Промышленное применение данного способа ограничено, в связи с выше перечисленными недостатками. Но это позволяет применять этот метод для целей лабораторного контроля – для количественного определения содержания бензола в газе.

Абсорбция бензольных углеводородов специальными поглотительными маслами. Поглощение производится при атмосферном, так и при повышенном давлении коксового газа. В качестве поглотителя используется поглотительное масло, получаемое на коксохимических заводах при ректификации смолы, или соляровое масло являющееся продуктом перегонки нефти. Улавливание бензольных углеводородов может осуществляться в скрубберах или в абсорберах тарельчатого типа. Улавливание бензольных углеводородов из коксового газа поглотительными маслами при атмосферном давлении получило повсеместное применение в отечественной коксохимической промышленности.

Улавливание бензольных углеводородов маслом производится в скрубберах, заполняемых преимущественно деревянной (хордовой) или металлической (спиральной) насадкой. В скрубберах масло и газ движутся

по принципу строкого противотока. Насыщенное бензолом масло поступает в бензольное отделение, где из него выделяется поглощенный сырой бензол. Лишенное бензола масло после охлаждения снова поступает на улавливание бензола. Таким образом, поглотительное масло все время находится в цикле. Так как с сырым бензолом одновременно выделяется некоторое количество наиболее легких погонов масла, то убыль его систематически пополняется соответствующим количеством свежего масла.

При многократном использовании масел увеличивается их вязкость и плотность. Это приводит к увеличению расхода энергии на их перекачивание и нагревание, наряду с уменьшением коэффициента абсорбции бензольных углеводородов и коэффициента теплопередачи в системе теплообмена. Поэтому для нормальной работы бензольных установок необходимо поддерживать стабильность физико-химических свойств масел (молекулярная масса, вязкость и плотность). На процесс абсорбции бензольных углеводородов влияет полнота очистки коксового газа от аммиака, поэтому запрещается улавливать бензольные углеводороды, если не работает или неудовлетворительно работает система улавливания аммиака. Абсорбция бензольных углеводородов проводится в колонных аппаратах — насадочных абсорберах, имеющих относительно невысокое сопротивление (не более 1 кПа у одного аппарата) (рисунок 1). Важным условием их работы является правильный выбор массообменных устройств — типа насадки [3].



1 – конечный холодильник; 2 – секция экстракции; 3 – отстойник; 4 – градирня; 5 – абсорберы; а – коксовый газ; б – охлажденный и очищенный от нафталина коксовый газ; в – коксовый газ после улавливания бензола; г – охлаждающая вода; д – взвесь нафталина в воде; е – нагретая каменноугольная смола; ж – смола, насыщенная нафталином; з – холодный воздух; и – нагретый воздух и пары воды; к – горячая после очистки от нафталина; л – абсорбент после десорбции; м – абсорбент на десорбции бензола

Рисунок 1 – Принципиальная схема абсорбции бензольных углеводородов из коксового газа [2]

Таким образом, метод абсорбции бензольных углеводородов поглотительным маслом при атмосферном давлении обеспечивает максимальное улавливание углеводородов, минимизирует дальнейшую очистку, так как количество сернистых соединений и тиофена незначительно.

Библиографический список

1. Харлампович Г.Д. Производство и использование ароматических углеводородов / Г.Д. Харлампович, В.З. Соколов - М., 1980. – 336 с.
2. Коляндра, Л.Я. Улавливание и переработка химических продуктов коксования / Л.Я. Коляндра - Харьков: 1962. – 467 с.
3. Лазорин С.Н. Производство сырого бензола / С.Н. Лазорин, Е.Я. Стеценко – М., 1992.
4. Журнал «Кокс и химия» № 2, 2006.

УДК 621.771.262

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОКАТКИ РЕЛЬСОВ НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ

Новожилов И.С.¹, Полевой Е.В.², Рубцов В.Ю.³, Непряхин С.О.⁴

¹ ПМХ Тагильская сталь, г. Нижний Тагил, e-mail: is.novozhilov@m-invest.ru

² АО «ЕВРАЗ НТМК», Нижний Тагил, e-mail: Uriylo@mail.ru

³ АО «ЕВРАЗ ЗСМК», Новокузнецк, e-mail: egor.polevoj@evraz.com

⁴ УрФУ, Екатеринбург, e-mail: s.o.nepriakhin@urfu.ru

В базу данных Deform 3-D была внесена марка стали 76ХСФ, используемая для производства рельс. Граничные условия для данной марки стали были основаны на деформационных свойствах материала, полученных ранее при помощи Gleeble System 3800. В качестве примера были проведены процессы моделирования прокатки рельсов Р65 с использованием в моделях универсальных клеток рельсобалочных станов, где результаты показали высокую степень сходимости с реальным процессом прокатки, что доказывает дальнейшую необходимость при моделировании процессов ОМД использовать реальные деформационные свойства материалов, для получения достоверного результата.

Ключевые слова: рельс, марка стали 76ХСФ, сопротивление деформации, Gleeble System 3800, моделирование процесса прокатки, граничные условия, деформационные свойства материала.

Для подтверждения работоспособности разработанных схем прокатки и калибровки валков, с целью исключения дополнительных опытных прокаток, и как следствие существенных затрат при освоении профиля, в последние годы наиболее часто перед началом освоения используют моделирование процессов прокатки МКЭ [1]. Для моделирования прокатки наиболее

эффективным программным продуктом является Deform 3-D [2-4]. С ежегодным совершенствованием программных комплексов появляются новые модули, которые расширяют возможность моделирования процессов ОМД, а также увеличивают качество сходимости результатов моделирования с реальным процессом. Одними из важных начальных условий являются деформационные свойства обрабатываемого материала. В базе данных стандартных материалов Deform – номенклатурный ряд существенно ограничен и включает в себя только основные используемые материалы. Таким образом при моделировании процессов деформации приходится подбирать из базы данных Deform ближайший по свойствам материал. Поэтому актуальным является создание базы марок стали Deform, отвечающих реальным условиям деформационных свойств. Для определения деформационных свойств материала существует несколько методов, включая аналитические, статистические и эмпирические. Наиболее высокую степень соответствия свойств материала с реальными условиями возможно получить только при комбинированном применении вышеперечисленных методов. Среди эмпирических методов существенно распространен метод определения истинных деформаций при испытании образца на горячее кручение. Также испытание на горячее кручение дает кривые $\sigma = f(\epsilon)$ до очень больших относительных деформаций. Основной недостаток этой схемы – неоднородность деформации по сечению: степень и скорость деформации изменяется от максимальной величины на поверхности до минимальных (вплоть до нулевых) значений истинной деформации в центре (вдоль оси вращения) цилиндрического образца. Правда, на практике в центре цилиндрического образца нулевые значения деформации могут быть получены только вдоль бесконечно тонкой линии, и лишь в том случае, если образец скручивают в пределах с упругой деформации. Реально, при пластической деформации кручением даже в центральной зоне происходит пластическая деформация значительно отличная от нуля вследствие неравномерности течения материала вызывающее перемешивание слоев (движение из «центра» на «периферию», с «периферии» в «центр»). Получаемая в горячедеформированном материале по схеме кручение неоднородность особенно в сочетании с небольшим радиусом образца может серьезно затруднить процедуру и достоверность последующих структурных исследований [5]. Определение деформационных уравнений кривых определялось на установке «Gleeble System 3800», с применением специальной установки «Hydrawedge II» (одного из четырех возможных сменных модулей, входящих в комплектацию комплекса «Gleeble System 3800» (рисунок 1).

В качестве объекта исследования была выбрана марка стали 76ХСФ.

Образцы исследуемых сталей нагревали до температуры 1200 °С со скоростью 5 К/с, выдерживали в течение 10 минут и охлаждали до температуры деформации со скоростью 10 К/с, затем деформировали на степень деформации 70 % и обдували воздухом (рисунок 2).

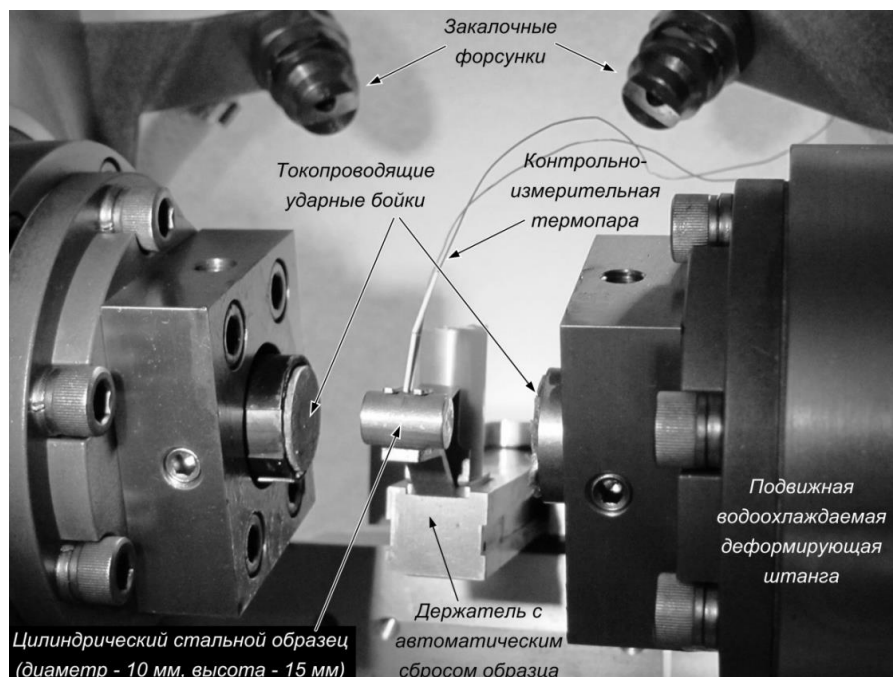


Рисунок 1 - Комплекс «Gleeble System 3800»

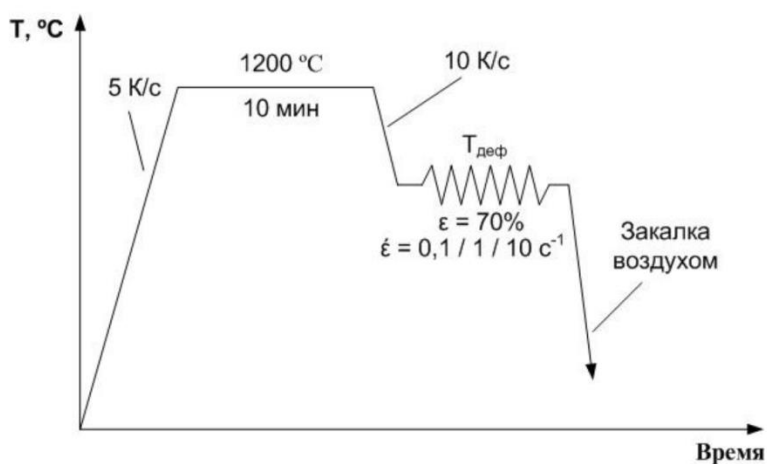


Рисунок 2 – Термическая обработка образцов исследуемых сталей

Образцы деформировали со скоростями 0,1, 1 и 10 с⁻¹ при температурах 1150, 1100, 1050, 1000, 950 и 900°С. По полученным кривым текучести строили регрессионную модель зависимости сопротивления деформации исследуемых составов сталей от температурно – скоростных показателей деформации. Зависимость сопротивления деформации от температуры при прокатке профиля Р65 из марки стали 76ХСФ представлена на рисунке 3.

Были определены зависимости скорости деформации, степени деформации, температуры и сопротивления деформации [6]. Данные зависимости в виде граничных условий были занесены в базу данных Deform и в результате при моделировании рельсов появилась возможность использовать сталь 76ХСФ, в качестве материала объекта моделирования.

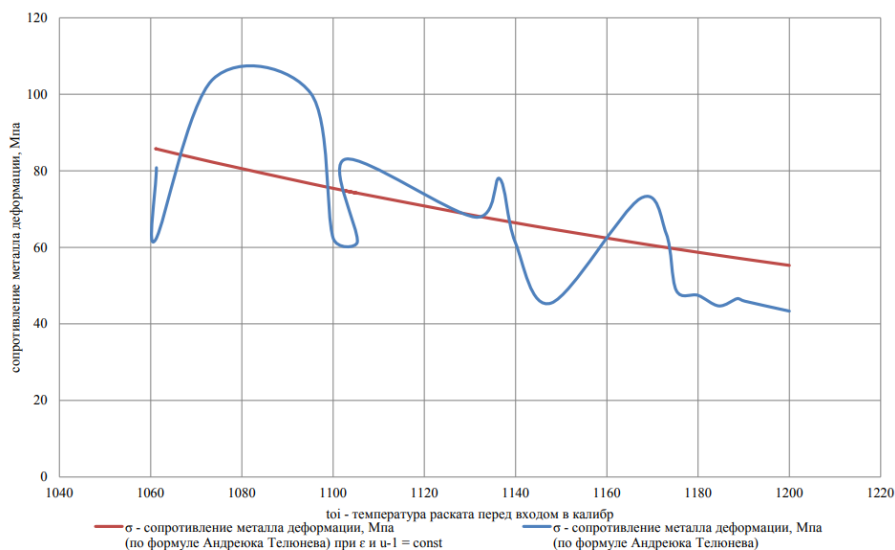


Рисунок 3 - Зависимость сопротивления деформации от температуры при прокатке профиля Р65 из марки стали 76ХСФ

В качестве примера с использованием данной марки стали были проведены следующие работы:

1. Смоделирован процесс прокатки железнодорожного рельса в виде чистового прохода полосы через группу универсальных клетей, где была сделана попытка максимально приблизить процесс к промышленным условиям, задав начальные и граничные условия с реальной модели. Одной из особенностей данной модели послужила задача начальных условий прокатки с учетом вращения вертикальных валков через передаваемый им момент, что максимально достоверно сказалось на результатах расчета и доказало влияние изгиба рельса в поперечном направлении [7]. Результаты симуляции процесса моделирования прокатки рельса Р-65, с использованием стали марки 76ХСФ представлены на рисунке 4.

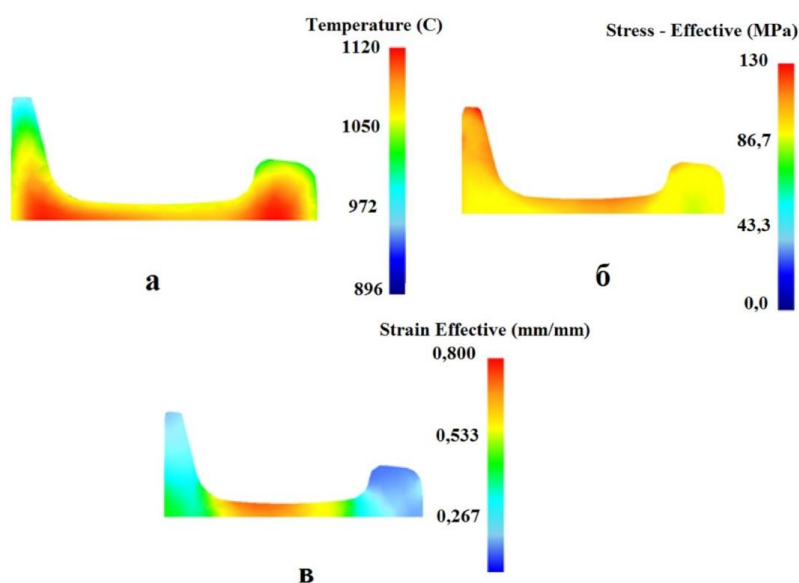


Рисунок 4. Расчетные эпюры температурных полей (а), интенсивности напряжений (б), интенсивности деформаций (в)

2. Проведено моделирование двухручьевого прокатки рельсов, полученных после предварительной прокатки заготовки в обжимной клетке и разрезки её перед задачей в группу «Тандем» (рисунок 5). Данный способ прокатки был ранее предложен для увеличения производительности изготовления рельсов, повышению качества, а также равномерности нагрузок на валки, был предложен способ прокатки рельсов, в котором появляется возможность прокатки одновременно 2-х рельсов [8].

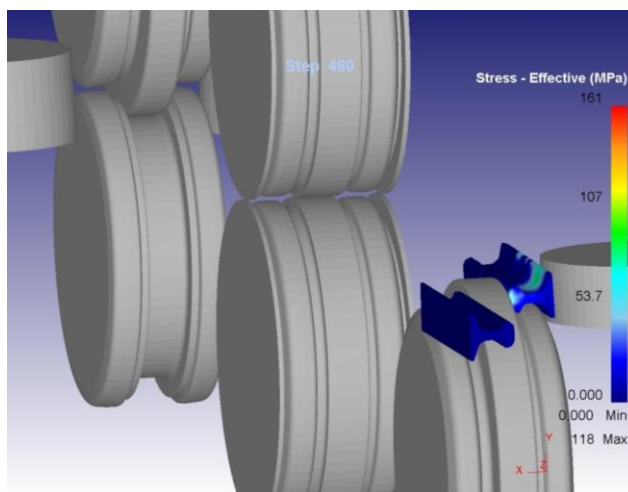


Рисунок 5 - Моделирование двухручьевого прокатки рельсов

В обоих случаях использование в качестве исходной модели рельсовую заготовку их марки стали 76ХСФ, деформационные характеристики которой были представлены в виде условий были в базе данных Deform. Достоверность полученных результатов показал высокую сходимость с реальным процессом прокатки рельсовой стали на универсальном стане.

Библиографический список

1. Новожилов И.С. Постановка задачи к определению начальных условий при моделировании прокатки рельсов / И.С. Новожилов, С.О. Непряхин, В.Ю. Рубцов // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2022. – Т. 78. - №3. – С. 242-249.
2. Шилов В.А. Компьютерное моделирование процесса прокатки рельсов в универсальных калибрах / В.А. Шилов, Р.А. Литвинов, Д.Л. Шварц // Современные металлические материалы и технологии (СММТ-2009). Труды международной научно-технической конференции Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2009. – С. 73-74.
3. Шилов В.А. Моделирование процесса прокатки рельсов в универсальных калибрах / В.А. Шилов, Р.А. Литвинов, Д.Л. Шварц // Производство проката. – 2009. – №8. – С. 20-25.
4. Кинзин Д.И. Использование программного комплекса DEFORM-3D при моделировании процессов сортовой прокатки / Д.И. Кинзин, С.С. Рычков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2011. – №2. – С. 45-48

5. Исследования влияния технологических параметров прокатки и термоупрочнения на формирование структуры и комплекса механических свойств рельсов Р65 из стали Э76ХФ в условиях ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» ; заказчик. А.Б. Юрьев ; руковод.: М.Р. Филонов., исп. И.С. Новожилов, М.Г. Хомутов, ФГАОУ ВПО «НИТУ «МИСиС» Москва, 2013. 78 с. Библиогр.: с. 76. Код ГРНТИ 53.43.00, 53.45.29, 53.49.00 - договор № 2208048 / 034/12-502.

6. Головатенко А.В. Анализ экспериментальной зависимости сопротивления деформации рельсовой стали Э78ХСФ от температуры, скорости и степени деформации / А.В. Головатенко, В.В. Дорофеев, В.А. Трусов, К.В. Волков, А.В. Добрянский // *Металлург.* – 2014. - №6. – С. 118-123.

7. Новожилов И.С. Постановка задачи к определению начальных условий при моделировании прокатки рельсов / И.С. Новожилов, С.О. Непряхин, В.Ю. Рубцов // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации.* – 2022. – Т. 78. - №3. – С. 242-249.

8. Способ прокатки рельсов : заявка на патент № 2021131448/05 Рос. Федерация ; / В.Ю. Рубцов, П.А. Алыпов, К.А. Улегин, И.С. Новожилов, Д.В. Гаев, С.А. Рощупкин ; заявитель и патентообладатель Акционерное общество Нижнетагильский металлургический комбинат (АО ЕВРАЗ НТМК) -; заявл. 20.12.2021.

УДК 621.71

ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНАЯ ДЛИНА ДЛИННОМЕРНОЙ РЕЛЬСЫ В РОССИИ

Белолипецкая Е.С.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Соловьев В.Н.

*Липецкий государственный технический университет,
г. Липецк, e-mail: belolipetskaya_es@mail.ru*

Наблюдается тенденция увеличения длины рельс. Потребность в рельсах большей длины стимулирует развитие прокатного производства. Разрабатываются и строятся новые рельсобалочные станы. Рассмотрены факторы, определяющие рациональную длину рельс в России. Показано, что для существующей конструкции железных дорог предпочтительно выпускать рельсы длиной 200 м. Проведена оценка и показана возможность производства рельс длиной 200 м.

Ключевые слова: рельсобалочный стан, рельс, длина, стык.

Введение

Перевозка грузов железнодорожным транспортом остается самой востребованной. Грузооборот железнодорожного транспорта в 2020 году составил 2545 млрд. т·км, трубопроводного транспорта – 2470 млрд. т·км, и автомобильного транспорта – 272 млрд. т·км. [1].

Сеть железных дорог постоянно развивается и расширяется. Планируется увеличивать скорость перевозок, грузопоток и нагрузки на рельсы. Строятся новые высокоскоростные магистрали, расширяются и модернизируются существующие [2, 3].

Развитие скоростного и тяжеловесного движения требует строительства бесстыковых рельсовых путей. Рельсы свариваются между собой, образуя длинную плетть до нескольких десятков километров [4].

Бесстыковый путь обладает существенными преимуществами: уменьшается износ рельсов и ходовых частей подвижного состава; экономится топливо и электроэнергия на тягу за счет уменьшения сопротивления движению поездов; снижаются расходы на содержание и ремонт пути и подвижного состава [5].

Однако бесстыковый путь имеет и недостатки. Сварка в полевых условиях требует специального оборудования, рабочих высокой квалификации, большого времени на формирование стыка. Это определяет высокую стоимость работ по выполнению стыка. Уменьшение количества стыков снижает расходы на строительство, содержание и ремонт пути, а также увеличивает продолжительность безремонтной эксплуатации подвижного состава.

Можно отметить, что в производстве рельс нужно стремиться к увеличению длины рельс и снижению количества свариваемых в полевых условиях стыков.

Актуальность увеличения длины рельс

Потребность в рельсах большей длины стимулирует развитие прокатных станов. Длина рельс с болтовыми отверстиями составляла 12,5 м. Сократить количество стыков и ускорить укладку путей позволил выпуск рельс длиной 25,0 м. Дальнейшее увеличение длины рельс потребовало разработки нового прокатного оборудования. Увеличение массы заготовки не позволяло обеспечивать требуемый температурный режим.

В настоящее время широкое распространение получил способ прокатки рельсов и балок PSP (ProFile Sizing Process). По этому способу прокатка осуществляется с применением компактных универсальных групп клетей SCC (Standart Core Concept) и отдельно стоящей чистовой клетки [6].

Создание рельсобалочных станов с непрерывной группой клетей позволило прокатывать рельсы длиной до 100 м. Такие длиномерные рельсы существенно сокращают количество стыков и повышают качество пути. Однако использование заготовки большой длины приводит к различию температуры по длине рельс.

Дальнейшее увеличение длины рельс до 120 м потребовало разработки мероприятий по поддержанию постоянной температуры по длине рельс. В линии стана с непрерывной группой клетей установлены индукторы для обеспечения требуемой температуры по длине рельс. [7, 8]

Длина рельс в 120 м не является предельной. Металлургический холдинг «Новосталь-М» до 2025 г. планирует построить сортовой завод «МЗ Балаково». Проектируется и предполагается строительство рельсобалочного

стана для производства рельс длиной до 150 м. Проектная мощность комплекса – 1,2 млн. тонн продукции в год. Поставщик оборудования – фирма Danieli. На балаковском мини-заводе планируется наладить выпуск не только рельсов, но и крупного фасонного профиля, балок, шпунта [9].

Высказывается мнение, что длина рельс может достигать 800 м [10]. Но длина таких цехов будет очень большой. Длина нового металлургического комплекса МЗ Балаково для выпуска рельс длиной 150 м составит более 1,3 км. В его состав войдут электросталеплавильный участок, участок вакуумирования стали, комплекс стана, участки подготовки производства, водоподготовки, склад готовой продукции, участок железнодорожной отгрузки, кислородный цех, автотранспортный цех [11]. Поэтому строительство цехов для выпуска рельс длиной 800 м маловероятно.

Следует отметить, что наблюдается тенденция к дальнейшему увеличению длины рельс. Однако вопрос о рациональной длине рельс остается открытым.

Предпочтительная длина длиномерной рельсы в России

Доставка и укладка рельсов длиной 100 м, по сравнению с рельсами длиной 12,5 и 25,0 м, существенно изменилась. Разработка новых схем укладки расширило возможности по использованию длиномерных рельс [12].

Существенно сократить количество стыков, свариваемых в полевых условиях, позволяет предварительная сварка длинных плетей. Плетей длиной более 100 м получают на специализированных предприятиях – рельсосварочных заводах. Рельсосварочное предприятие РСП-13 в Челябинской области одно из крупнейших в мире. После перехода Челябинского и Новокузнецкого металлургических комбинатов на выпуск 100-метровых высокоточных рельсов рельсосварочное предприятие обеспечивает их сварку в 800-метровые плети.

Перевозка плетей длиной 800 м осуществляется специализированными составами РС-800/3, состоящими из 60 четырехосных универсальных платформ. Состав рельсовозный повышенной вместимости, предназначен для погрузки рельсовых сварных плетей с технологических линий рельсосварочных предприятий, перевозки плетей к местам укладки бесстыкового пути, выгрузки на перегонах, погрузки на состав снятых с пути старогодных рельсовых плетей и последующей перевозки их к месту повторной укладки или ремонта [13].

Длина плетей в 800 м обусловлена конструкцией железнодорожных путей в России.

Для пропуска необходимого числа поездов по участку и обеспечения безопасности их движения железнодорожные линии делятся на перегоны, или блок-участки с раздельными пунктами. Различают раздельные пункты с путевым развитием и без него. К раздельным пунктам с путевым развитием относятся разъезды, обгонные пункты и станции. Раздельный пункт на двухпутной линии обеспечивает обгон поездов и в необходимых случаях – перевод поезда с одного главного пути на другой.

Длина сварных плетей в нашей стране ограничена техническими возможностями железных дорог. Максимальная длина плети 800 м должна позволить разместить состав с рельсами на обгонной станции. Минимальный размер прямолинейного участка обгонного пути составляет 805 м (рисунок 1). В настоящее время предусматривается использование обгонных пунктов с длиной прямого пути 1005 м и 1205 м, а также удвоенной длины – 2005 м и 2405 м. Полезная длина приёмо-отправочных путей больше – 850 и 1050 м (допускается 1250 м), а также – 1700 и 2100 м [14]. Планируется сокращение участков длиной 800 м за счет увеличения их длины.

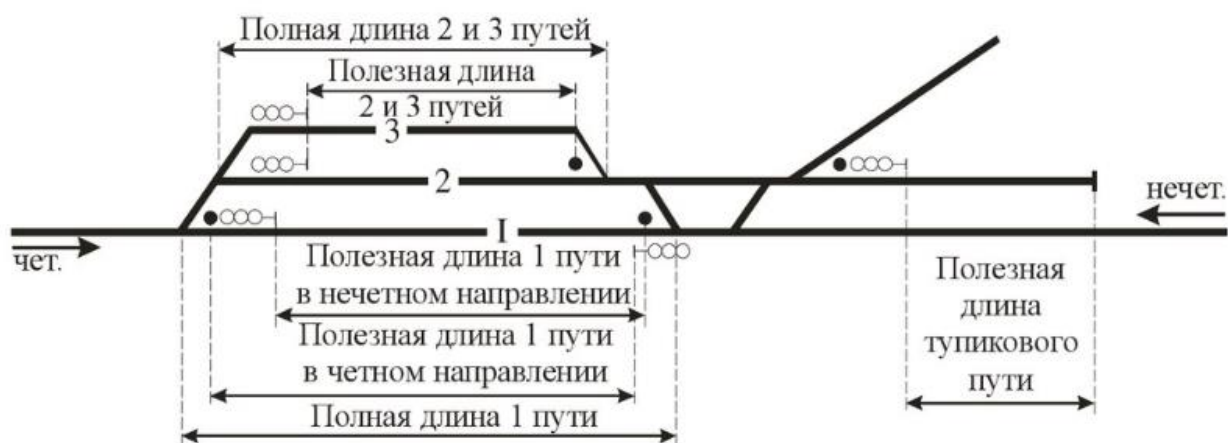


Рисунок 1 - Схема раздельного пункта.

На изготовление сварной плети длиной 800 м идут 8 рельс длиной по 100 м. Следует отметить, что длина плети 800 м кратна 200 м. Каждая следующая длина прямого пути обгонного пункта больше на 200 м. В обозримом будущем кардинальное изменение увеличения кратности пути раздельных пунктов не предвидится. Исходя из этого можно констатировать, что в России целесообразно использование длинномерных рельс длиной 200 м. При этом сокращается количество стыков в плетях длиной 800 м и легко осуществляется переход на выпуск плетей следующей большей длины после реконструкции раздельных пунктов. Выпуск рельс большей или меньшей длины, чем 200 м, в нашей стране нецелесообразен.

Оценим техническую возможность прокатки рельс длиной 200 м.

Производство рельс длиной 200 м предполагает использование заготовки большой массы. Первая операция – нагрев блюмов. Основу железнодорожной сети России составляют рельсы Р65. Массу заготовки для рельсы Р65 длиной 200 м определим расчетом:

$$m = m_1 \times L = 64,88 \times 200 = 12\,976 \text{ кг},$$

где m_1 – теоретическая линейная масса одного метра рельса (при плотности стали 7850 кг/м), кг [15];

L – длина рельсы, м.

Примем массу заготовки для рельсы Р65 длиной 200 м равной 14 т. В

настоящее время в прокатном производстве используются нагревательные печи с длиной пода до 15 м. Соответственно, размер поперечного сечения непрерывнолитой заготовки при соотношении сторон 1,2 может составлять 315*380 мм. Таким образом, возможно нагреть заготовку для прокатки рельс длиной 200 м.

Вторая проблема при прокатке рельсы длиной 200 м – сохранение температуры по длине рельс. На станах с технологией PSP с непрерывной группой клетей прокатка рельс длиной 200 м невозможна. Температура по длине 100-метровой рельсы снижается на 60-70 °С. Уже при прокатке рельсы длиной 150 м используется индукционный подогрев. Очевидно, что конструкция стана для прокатки рельс будет дальше развиваться в направлении увеличения количества клетей, в том числе в составе непрерывной группы. Для прокатки рельс длиной 200 м целесообразно строительство непрерывных станов, состоящих из 3-7 черновых клетей и 7-8 чистовых клетей. На таких станах возможно обеспечить одинаковую температуру по длине рельсы за счет прокатки основной части раската с ускорением [16], использования тепловых экранов [17] и подогрева раската в индукторах.

Заключение

В мире наблюдается тенденция увеличения длины рельс. В России освоен выпуск рельс длиной 100 м, в Казахстане построен стан с возможностью прокатки рельс длиной 120 м. В России планируется строительство рельсобалочного стана для прокатки рельс длиной 150 м. При конструировании новых станов необходимо определиться с длиной рельсы.

Конструкция дорог в России предусматривает использование отдельных пунктов с длиной прямого пути 805, 1005 м и 1205 м. Минимальный размер прямого пути ограничивает перевозку сварных плетей до 800 м. Очевидно, что размер прямого пути кратен 200 м. Поэтому рационально прокатывать в России рельсы длиной 200 м.

Имеющийся опыт развития рельсобалочных станов показывает, что для прокатки рельс длиной 200 м целесообразно строительство непрерывных станов, состоящих из 3-7 черновых клетей и 7-8 чистовых клетей. На таких станах возможно обеспечить одинаковую температуру по длине рельсы за счет прокатки основной части раската с ускорением, использования тепловых экранов и подогрева раската в индукторах.

Библиографический список

1. Основные показатели транспортной деятельности в России. https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Publ_TR_2021.docx.
2. О Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года. Распоряжение Правительства РФ от 17.06.2008 № 877-р.
3. Географический анализ государственной политики на железнодорожном транспорте России / Требушкова И. Е., Полякова Н. О. // Географическая среда и живые системы. 2021. № 1. - С. 110–130.
4. О целесообразности применения рельсов длиной 25 м на железобе-

тонных шпалах / А. В. Варданян // Путь и путевое хозяйство. – 2011. – № 10. – С. 29-30.

5. Становление бесстыкового пути / Новакович В.И. // Путь и путевое хозяйство. 2003. № 9. - С. 17-19.

6. Развитие оборудования для производства рельс высокоскоростных железных дорог / Е. С. Белолипецкая, В. Н. Соловьев // Школа молодых ученых: Материалы областного профильного семинара, Липецк, 15 ноября 2019 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2019. – С. 9-12.

7. Улучшение качества рельсов за счет применения новых технологий и оборудования / Н. К. Кулманова, Ж. К. Аймурзаева, М. М. Алимкулов // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2015. № 1(92). – С. 5-9.

8. Прокатный стан «АРБЗ». Современные технологические концепции для производства рельсов и балок / А. Лаинати, Б. К. Каскин // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2014. № 5(90). – С. 37-44.

9. Danieli поставит оборудование для строительства рельсобалочного стана на МЗ Балаково. Новости металлургии. Металлоснабжение и сбыт <https://www.metainfo.ru/ru/news/133834>.

10. Инновационные технологии производства рельсового сортамента / А. В. Малютин, И. В. Левина // Политехнический молодежный журнал. – 2018. № 11(28). – С. 13-15.

11. Председателю Правительства РФ презентован проект строительства рельсобалочного стана. Новости металлургии. Металлоснабжение и сбыт. <https://www.metainfo.ru/ru/news/129374>.

12. Реконструкция железнодорожного пути с целью увеличения скорости движения поездов / К. Б. Адильбекова, Д. Ж. Каербек, А. С. Медведев, Н. Д. Ставрова // Наука и техника Казахстана. 2017. № 3-4. – С. 9-18.

13. РС-800/3 состав рельсовозный. Путевая техника. <https://sinaratm.ru/products/putevaya-tekhnika/rs-800-3>.

14. Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм. Москва: Издательство «Техинформ», 2001.

15. ГОСТ Р 51685-2013. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия.

16. Прокатка длиномерной рельсы с ускорением / В. Н. Соловьев, Е. С. Белолипецкая // Металлургия: технологии, инновации, качество: Труды XXII Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Новокузнецк, 10–11 ноября 2021 года / Под общей редакцией А.Б. Юрьева. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2021. – С. 248-255.

17. Патент № 2480298 С1 Российская Федерация, МПК В21В 1/26. Теплоизоляционный экран стана для прокатки широких балок (рельсов) : № 2011146180/02 : заявл. 15.11.2011 : опубл. 27.04.2013 / В. Н. Хлопонин, И. С. Новожилов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГОРЯЧЕБРИКЕТИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗА НА ПАРАМЕТРЫ ПЛАВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО ЧУГУНА В ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

Рябинин А.С., Сафонов С.О., Лопатина А.О.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Дмитриенко В.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, e-mail: raybininas@mail.ru, sergey.safonov.1950@mail.ru,
olegovvna@bk.ru*

В данной работе исследовано влияние горячебрикетированного железа в качестве составляющего шихты для производства синтетического чугуна в дуговой сталеплавильной печи (ДСП №1) в условиях электросталеплавильного цеха (ЭСЦ №2) АО ЕВРАЗ ЗСМК.

Ключевые слова: горячебрикетированное железо (ГБЖ), синтетический-передельный чугун, дуговая сталеплавильная печь (ДСП).

В настоящее время на металлургическом рынке на фоне повышения требований к качеству электростали наблюдается снижение качества амортизационного лома, что приводит к возрастанию спроса на металлized сырье, в частности на горячебрикетированное железо (ГБЖ). Повышение цен на качественный стальной лом и повышение требований к чистоте готовой стали по содержанию вредных примесей подтолкнула кампании к экспериментам с ГБЖ. Тем более у горячебрикетированного железа благоприятные условия для транспортирования и хранения по сравнению с ломом.

Но плавка с ГБЖ также имеет отрицательные стороны: это повышенный расход электроэнергии и расход электродов, образование тугоплавких и неэлектропроводимых конгломератов, ухудшение состояния футеровки, увеличение количества шлака.

На предприятии АО ЕВРАЗ ЗСМК в электросталеплавильном цехе (ЭСЦ №2) на ДСП №1 проведены 3 опытных плавки синтетического-передельного чугуна с добавкой ГБЖ в металлошихту. Чугун используют в производстве электростали и рельсовой стали как сырье с минимальным количеством цветных примесей, его добавляют 20 – 40 % металлошихты.

Цель опыта выплавить передельный чугун в ДСП №1 в качестве использования как шихтового материала для ДСП №2, и дальнейшего передела в полупродукт для производства рельсовой стали.

Горячие брикеты произведены на Лебединском Горно-Обогатительном Комбинате (ОАО «Лебединский горно-обогатительный комбинат» (ЛГОК)).

ГБЖ представляет собой брикеты с размером 110*50*30 мм и плотностью 5 г/см³, полученные методом прямого восстановления из железной руды. В брикетах отсутствуют примеси цветных металлов. Удельный расход ГБЖ со-

ставляет около 0,84. Химический состав ГБЖ, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав ГБЖ

C	S	P	SiO ₂	Fe _{общ}	Fe _{мет}	Металлизация
1,04	0,006	0,012	4,3	90,6	84,4	93,1

Опытная плавка №1, загрузка шихты на пустую разогретую печь ДСП №1. В начале плавки было замечено, что брикеты начинают плавиться, При добавлении подвалок с ломом смешения с ГБЖ не происходило. Брикеты не спекались и формировали крупные тугоплавкие конгломераты с образованием тягучего кислого шлака, полностью неэлектропроводного. Конгломераты и кислый кристаллический шлак сосредоточились в центре печи. А расплавленный стальной лом оказался по краям. Так же вовремя плавки образовалась течь воды, из-за которой был преждевременный выпуск.

Из печи выпущено 57 т расплавленного лома, из-за низкой температуры на выпуске в ковш 1351 °С, металл застыл. В таблице 2 показаны материалы и показатели производства опыта №2.

Таблица 2 – Материалы и производственные показатели в 1 опыте

Материал	Завалка	Подвалка 1	Подвалка 2	Подвалка 3	%
ЗА			17,8		11,2
ЗАВ				34,3	21,7
ЗАК		8,6			5,4
ГБЖ	97,8				61,7
Всего шихты, т.		158,5			
Выпущено металла, т.		57			
Длительность под током		05:28:52			
Расход эл.эн, к Втч		186413			

Опытная плавка №2, загрузка шихты на разогретую печь ДСП №1 с болотом. Процесс выплавки во втором опыте был удовлетворительным, но произошла поломка электрода, из-за которой также был преждевременный выпуск.

Из печи выпущено 78 т передельного чугуна, из-за низкой температуры на выпуске 1349 °С, в печь ДСП №2 залили 39 т, а остальное количество металла застыло. В таблице 3 показаны материалы и показатели производства опыта №2.

Таблица 3 – Материалы и производственные показатели во 2 опыте

Материал	Болото	Завалка	Подвалка 1	%
Болото	25			28,87
ЗА			29,6	34,18
ГБЖ		32		36,95
Всего шихты, т.		86,6		
Выпущено металла, т.		78		
Длительность под током		02:16:11		
Расход эл.эн, к Втч		74577		

Опытная плавка №3, загрузка шихты на разогретую печь ДСП №1 с болотом. Процесс выплавки в третьем опыте был без замечаний, с меньшим расходом электроэнергии и длительностью под током.

Из печи выпущено 84 т передельного чугуна, температура на выпуске 1678 °С, в печь ДСП №2 залили 84 т. В таблице 4 показаны материалы и показатели производства опыта №3.

Таблица 4 – Материалы и производственные показатели в 3 опыте

Материал	Болото	Завалка	Подвалка 1	%
Болото	30			33,22
ЗА		33,6		37,21
ГБЖ		24,6	2,1	29,57
Всего шихты, т.		90,3		
Выпущено металла, т.		84		
Длительность под током		01:08:30		
Расход эл.эн, к Втч		49932		

Проба была взята во всех опытах, но только в 3 опыте удалось получить химический состав, который указан в таблице 5.

Таблица 5 – Химический состав синтетического-передельного чугуна

С	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Ti	V
1,12	0,227	0,014	0,025	0,040	0,159	0,114	0,145	0,002	0,015

Выводы:

1. Плавки в ДСП №1 проходили удовлетворительно, так как печь не оборудована интенсификаторами, такими как инжекторы и газокислородными горелками, а отсутствие манипулятора для взятия проб вынуждает брать пробу исключительно вручную, как и делать замер температуры металла. Из-за отсутствия интенсификаторов плавки расход электродов и количество потери электроэнергии катастрофически высока, что делает печь не производительной.

2. Завалку ГБЖ проводить вместе с ломом и не более 30% от веса всей шихты. Либо использовать ГБЖ как подшихтовку: 10 – 15 т на плавку.

3. Для плавки с ГБЖ необходимо оставлять в печи болото от предыдущей или разогреченной плавки.

4. Выпуск производить с температурой до 1600 °С.

Библиографический список

1. ВТИ 899 – ЭСПЦ – 24 -2019. Временная технологическая инструкция. Выплавка чугуна в ДСП №1 ЭСПЦ. / Е.П. Кузнецов, К.Е. Ботнев – Новокузнецк: АО «ЕВРАЗ ЗСМК», 2019. – 20 с.

2. ТИ 899– ЭСПЦ-03-2012. Технологическая инструкция. Производство рельсового металла в ЭСПЦ. / Е.П. Кузнецов, К.Е. Ботнев – Новокузнецк: АО «ЕВРАЗ ЗСМК», 2012. – 111 с.

3. Коростелев А.А. Повышение эффективности производства электро-стали при использовании ГБЖ в завалке / А.А. Коростелев, Н.С. Съемщиков,

УДК 625.143.48

**РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ РЕЖИМОВ СВАРКИ
 РЕЛЬСОВ КОНТАКТНО - СТЫКОВЫМ СПОСОБОМ
 НА МАШИНЕ МСР 63.01 А**

Алимарданов П.Э., Азаренков И.А.

**Научный руководитель: д-р техн. наук, профессор Козырев Н.А.,
 Шевченко Р.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
 г. Новокузнецк, e-mail: shefn1200@mail.ru*

В данной работе представлены результаты регрессионного анализа режимов сварки рельсов контактно-стыковым способом на машине МСР –63.01 А. Математическая модель, описывающая влияние режимов сварки рельсов на машине МСР –63.01 А, позволит усовершенствовать технологию контактно-стыковой сварки рельсов.

Ключевые слова: сварка рельсов, регрессионный анализ, моделирование, режимы сварки.

Обеспечение качественных сварных стыков рельсов делает возможным получение бесстыкового железнодорожного пути. Создание функциональных моделей, характеризующих влияние режимов сварки рельсов на их механические свойства, является актуальной задачей []. В производственных условиях проведены исследования влияния режимов сварки контактно - стыковым способом на механические свойства сварных стыков.

Режимы сварки рельсов на машине МСР –63.01 А характеризуются силой тока и напряжением, которые измерялись на всех 10 этапах сварки рельсов. Режимы сварки предоставлены в таблице 1.

Таблица 1 – Режимы сварки

Р _{изг} , кН	І ср, А	Uср, В	І ср, А	Uср, В	І ср, А	Uср, В	І ср, А	Uср, В	І ср, А	Uср, В	І ср, А	Uср, В	І ср, А	Uср, В	І ср, А	Uср, В	І ср, А	Uср, В	І ср, А	Uср, В
1584	692	362	669	336	448	259	438	264	420	268	434	279	353	389	357	400	360	410	420	438
1672	598	362	400	344	457	258	469	264	476	269	476	276	377	389	403	397	423	403	476	469
1788	600	375	500	363	300	352	560	335	530	325	500	342	320	362	400	360	700	358	0	0
1978	700	362	750	360	570	325	580	320	530	300	525	307	500	335	450	360	700	352	530	580
2083	690	352	650	350	525	320	540	317	520	310	500	300	420	330	480	350	630	340	520	540
1622	725	362	700	357	500	330	525	312	535	310	520	317	500	332	510	350	750	340	535	525
2045	700	362	680	355	500	320	515	308	530	302	510	310	495	325	530	343	730	332	530	515
2051	730	350	650	342	510	317	560	302	580	291	540	304	520	318	545	339	700	324	580	560

Для получения функциональной зависимости влияния режимов сварки рельсов на прочностные свойства сварных стыков использовали математический аппарат MS Excel. Регрессионные характеристики модели были получены с помощью функции Регрессия в MS Excel. Данные полученных данных регрессионного анализа предоставлены в таблице 2

Таблица 2 – Данные регрессионного анализа

	Коэффициенты	Среднеквадратическое отклонение	t-статистика	P-значение	Нижний 95%	Верхний 95%
Пересечение	7414,201953	3570,234221	2,076671024	0,0439872	209,1775978	14619,22631
X1	-0,729979131	0,23243819	-3,140530101	0,003085386	-1,199058389	-0,260899874
X2	-13,51924165	7,294588352	-1,85332482	0,070869429	-28,24031693	1,201833636
X3	0,033504143	0,206987025	0,161865911	0,872187647	-0,384212584	0,45122087
X4	8,286782024	10,35748674	0,800076527	0,428168788	-12,61547246	29,1890365
X5	0,536328767	0,445771345	1,203147696	0,235657487	-0,363274228	1,435931762
X6	27,40865892	11,11345705	2,46625859	0,017818263	4,980794591	49,83652325
X7	-1,428557077	1,325337949	-1,077881365	0,287238727	-4,103197342	1,246083188
X8	-4,339794666	15,49118309	-0,280146109	0,780740643	-35,60226781	26,92267847
X9	-0,24546827	0,87102972	-0,281813886	0,779470192	-2,00327741	1,51234087
X10	-18,6444807	12,17247942	-1,53169129	0,133097019	-43,20953869	5,920577289
X11	0,377893681	0,627633998	0,602092434	0,550349421	-0,888723005	1,644510368
X12	-3,488829204	1,331260932	-2,620695251	0,012164359	-6,175422533	-0,802235874
X13	-0,546814284	1,003204423	-0,545067657	0,588589943	-2,571362774	1,477734206
X14	1,331198629	3,557416032	0,374203809	0,710135317	-5,847957574	8,510354832
X15	-2,532290161	1,070891076	-2,364657077	0,022743691	-4,693435846	-0,371144476
X16	-1,97431096	2,488075115	-0,793509387	0,431941405	-6,995449824	3,046827904
X17	-1,811398963	0,538028214	-3,366736013	0,001636401	-2,897183856	-0,725614069
X18	-2,20262635	0,588767491	-3,741080109	0,000549441	-3,390807251	-1,014445449
X19	-0,148813271	0,732094217	-0,203270655	0,839905117	-1,626239214	1,328612672
X20	0,930666361	0,768131988	1,211596934	0,232439473	-0,619486749	2,48081947

В таблице 2 переменные X1, X2, ...X20 соответствуют измеряемым значениям силы тока и напряжения в технологических режимах сварки рельсовых стыков на машине МСР –63.01 А. В дальнейшем по данным P-значения мы можем проверить влияние каждого режима сварки на полученную стрелу изгиба при трехточечном изгибе .

Выводы:

1) В результате проведенных исследований была изучена модель регрессионного анализа данных режимов сварки при сварке контактно стыковым способом на машине контактно стыковой сварки МС – 63.01 А.

2) Анализ регрессии режимов сварки позволил сделать выводы о том, что стрела изгиба, получаемая при исследовании на трехточечный изгиб, зависит от выбранного режима сварки

Библиографический список

1. Тушинский, Л. И. Методы исследования материалов/Л. И. Тушинский, А. В. Плохов, А. О. Токарев, В. Н. Синдеев. – М.: Мир, 2004. – 380 с.

2. Гольцев, В.Ю. Методы механических испытаний и механические свойства материалов: Учебное пособие. / В.Ю. Гольцев. М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 228 с. 10 Колмаков А.Г. Методы измерения твердости. / А.Г. Колмаков – М.: Интермет Инжиниринг, 2000. – 412 с.

3. Колмаков А.Г. Методы измерения твердости. / А.Г. Колмаков – М.: Интермет Инжиниринг, 2000. – 412 с.

4. Шевченко, Р. А. Совершенствование технологии контактной сварки железнодорожных рельсов / Р. А. Шевченко; науч. рук. Н. А. Козырев // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13-15 июня 2018 г. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2018. – Вып. 22. – Ч. 2: Естественные и технические науки.– С. 218-221.

5. Влияние режимов контактной стыковой сварки на неметаллические включения в металле рельсовой стали Э76ХФ / Р. А. Шевченко, Н. А. Козырев, А. Н. Гостевская, К. А. Бутакова, А. А. Усольцев // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии : сборник научных трудов. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2020. – Вып. 43. - С. 195-200.

6. Исследование износостойкости сварного стыка железнодорожных рельсов / Н. А. Козырев, Р. А. Шевченко, А. А. Усольцев, Р. Е. Крюков, А. Р. Михно // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2020. – Т. 76, № 8. - С. 818-825.

УДК 621.771

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫПЛАВКИ ФЕРРОСИЛИЦИЯ МАРОК ФС75 И ФС65 В ЗАКРЫТЫХ ПЕЧАХ №12,13,15 АО "КФ" С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БУРОГО УГЛЯ ОТ ПОСТАВЩИКОВ ООО "РЕСУРСУГОЛЬ" И ООО "КАЙЧАКУГЛЕСБЫТ"

Мосин Р.А., Сало А.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Лазаревский П.П.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В рамках реализации программы коксозамещения с целью снижения себестоимости ферросилиция в АО «КФ» активно проводятся испытания и внедрение ископаемых углей. С учетом конструкции и температурных условий работы оборудования в шихтовку закрытых печей введен бурый уголь с навеской 40-50кг/200кг кварцита.

Ключевые слова: ферросилиций, руднотермическая печь, углеродистый восстановитель, кокс, бурый уголь, замена кокса, теханализ.

Из-за перебоев с поставками бурого угля закрытые печи периодически

работают с шихтовками восстановителя «кокс+щепа». Эксплуатация закрытых руднотермических печей без бурого угля на высококремнистых (ФС65,ФС70,ФС75) сплавах характеризуется горячим ходом, ухудшением показателей производства и номенклатуры выплавляемых марок ферросилиция, сокращением сроков межремонтных периодов. Альтернативный ввод длиннопламенного угля с навеской 20-30кг/200кг кварцита сопровождался незначительным улучшением технологических показателей производства закрытых печей, однако на печах №12,13 количество горячих простоев по ремонту оборудования повысилось.

Кратковременные промышленные кампании по использованию бурого угля от поставщика ООО "Ресурсуголь" существенно улучшили ТЭП работы закрытых печей. В итоге регулярные поставки бурого угля на предприятие были восстановлены. Представлены результаты выплавки ФС65 и ФС75 в закрытых печах №12,13,15 цеха ферросплавного производства (ЦФП) участков производства ферросилиция (УПФ №2,3) с использованием бурого угля в октябре-декабре 2021г.

В таблице 1 представлены основные показатели качества восстановителей.

Таблица 1 - Качество углей для промышленных испытаний

Показатели		Уголь Д Шубаркольский разрез	Уголь Б Кайчакский разрез	Кокс
Технический анализ, % :	W_t^r	11,8	32,7	8,7
	A^d	2,8	11,4	12,5
	V^{daf}	44,1	45,8	1,5
	S^d	0,40	0,35	0,42
	P^d	0,009	0,003	0,047
Содержание углерода (C_{fix}),%		54,3	48,0	86,2
Гранулометрический состав (%) по классам, мм:				
	150-100	3,9	4,5	-
		34,9	23,2	-
	100-50	39,4	40,7	2,0
	50-20	9,6	16,1	85,1
	20-10	5,0	6,8	9,2
	10-5	7,2	8,7	3,7
	5-0			
Средний размер куска, d_{cp} , мм		46,9	40,0	13,4
Элементный состав на органическую массу, % :				
	C^{daf}	78,58	72,49	97,11
	H^{daf}	5,09	4,50	0,72
	N^{daf}	1,57	1,29	1,15
	O^{daf}	14,34	21,33	0,54
	S^{daf}	0,42	0,39	0,48

Продолжение таблицы 1

Показатели	Уголь Д Шубаркольский разрез	Уголь Б Кай- чакский разрез	Кокс
Теплота сгорания, ккал/кг (МДж/кг): - высшая, Q_s^{daf}	7500 (31,40)	6650 (27,84)	7950 (33,28)
	6250 (26,17)	3630 (15,20)	7100 (29,72)
Реакционная способность по CO_2 при $1000^\circ C$, K_{CO_2} , $cm^3/g \cdot c$	5,10	5,47	0,47
Удельное электросопротивление по классу 6-3 мм, $p=0,2$ кг/см ³ , ρ , ом·см	$>1,9 \cdot 10^6$	$>1,9 \cdot 10^6$	3,9
Плотность, г/см ³ : действительная, d_g^d кажущаяся, d_a^d	1,420	1,697	1,952
	1,147	0,891	1,040
Пористость, P_g^d , %	19,2	47,5	46,7
Общий объем пор, $W_{общ}$, см ³ /г	0,168	0,533	0,449
Структурная прочность, P_c , %	63,3	55,7	87,4
Термическая стойкость, ПТС, %	75,4	25,8	98,7

Анализ работы закрытых печей №12,13,15 АО "КФ" с использованием бурого угля в октябре-декабре 2021г.

В октябре – декабре 2021г. в УПФ № 2 и №3 поступал бурый уголь фракции 30-110мм от поставщиков ООО "Ресурсуголь" и ООО "Кайчакуглесбыт". Уголь складировали в шихтовых дворах в приямках для бурого угля. Качество технического и гранулометрического состава угля от различных поставщиков было сопоставимым. В отдельных вагонах бурого угля от поставщика ООО "Кайчакуглесбыт" было выявлено повышенное содержание золы.

Бурый уголь подавали на печи без подготовки. Ниже в таблицах 2-3 приведены данные по гранулометрическому составу и теханализу бурого угля.

Таблица 2 - Средний теханализ бурого угля в УПФ №2 и №3 за октябрь декабрь 2021г., % масс.

УПФ №	W_t^r	A^d	V^{daf}	C_f^d	C_t^r
2	33,4	6,7	46,2	35,8	33,4
3	33,2	6,7	46,7	35,6	33,3

Таблица 3 - Средний гранулометрический состав бурого угля в УПФ №2 и №3 за октябрь-декабрь 2021г., % масс.

УПФ №	Класс, мм				
	0 - 4мм	4- 20мм	20 - 60мм	60 - 90мм	+ 90мм
2	2,5	14,6	39,1	32,0	14,5
3	1,2	10,8	38,4	36,0	14,1

Из таблиц 2 и 3 следует, что средний состав бурого угля соответствует условиям поставки (класс 30-110мм, зола до 7%) и требованиям инструкций, предъявляемым к качеству ископаемых углей.

Анализ работы печи №12 с использованием бурого угля.

Работа печи №12 в течение последних двух лет характеризовалась снижением производительности, нарушением электрического режима, затруднениями с выходом металла и шлака, большим количеством горячих простоев по чистке АГО и ГЗП и устранению течи воды, сокращением межремонтных периодов. В 2021г. из-за повышенного износа оборудования ППР вынужденно перенесли с ноября на август. Ограничения мощности, действующие на предприятии в августе 2021 года, совпали по времени с разогревом печи №12 после ППР, что крайне негативно повлияло на ее дальнейшее технологическое и техническое состояние. В октябре печь №12 уже работала неудовлетворительно, но благодаря использованию бурого угля ее состояние в ноябре-декабре частично стабилизировалось.

Ниже в таблице 4 приведено сравнение основных технико-экономических показателей работы печи №12 в течение октября-декабря при использовании бурого угля в составе колоши и без него.

Таблица 4 - Показатели выплавки ФС65 на печи №12 с использованием бурого угля

Показатель	Ед. изм.	с 10.10 по 20.10	с 29.10 по 07.12	Изменения относительно шихтовки 0Б/(50-70)Щ	
		0Б/(50-70)Щ	40Б/50Щ	абс	%
Съем ЭЭ	МВт*ч/сут	464,79	460,37	-4,40	-0,9
Производительность	баз.т/сут	63,22	63,16	-0,06	-0,1
Удельный расход ЭЭ	МВт*ч/баз.т	7,352	7,289	-0,063	-0,9
кварцит	т/баз.т	1,532	1,538	0,00	-0,3
кокс (сухой)	т/баз.т	0,655	0,569	-0,09	-13,1
уголь Б (влажный)	т/баз.т		0,299		
щепа	т/баз.т	0,451	0,373	-0,08	-17,2
стружка	т/баз.т	0,288	0,307	0,02	6,7

Данные за 14.10.21г. исключены из анализа из-за длительного простоя 5ч. 15мин – ремонт т/т №№ 3, 7, 8.

Данные за 17.10.21г. исключены из анализа из-за серии простоев 2ч. 45мин. по чистке АГО, устранению течи ГЗП.

Данные за 01.11.21г. исключены из анализа из-за длительного простоя 4ч.35мин - ППР, ремонт крыши зонта и т/т №7, чистка АГО.

Данные за 13.11.21г. исключены из анализа из-за длительного простоя 3ч.20мин - устранение течи воды системы охлаждения т/т №№7, 8, 12

Как следует из таблицы 3, на печи №12 при выплавке ферросилиция марки ФС65 в результате ввода в шихтовку 40кг угля Б произошло:

- снижение удельного расхода электроэнергии на 63кВт*ч/т (-0,9 %);
- сокращение расхода кокса на 13,7 %;
- сокращение расхода щепы на 17,2 %.

Полученные результаты являются следствием восстановления нормального электрического режима работы печи, наращивания электродов, снижения избытка углерода в шихте при использовании бурого угля, улучшения работы технологического персонала.

Анализ работы печи №13 с использованием бурого угля

Сортамент выплавки ферросилиция и сравнение его показателей на печи №13 за различные периоды представлены в таблице 5.

Из таблицы 4 следует, что при вводе бурого угля на печи №13 произошло значительное улучшение технико-экономических показателей по сравнению с периодом работы без углей, как на сплаве ФС75, так и при выплавке ФС65.

На печи №13 при выплавке ферросилиция марки ФС65 в результате ввода в шихтовку 40кг угля Б отмечено:

- повышение производительности на 8,13 %;
- снижение удельного расхода электроэнергии на 144 кВт*ч/т (-1,99 %);
- сокращение расхода кокса на 12,57 %;
- сокращение расхода щепы на 27,61 %.

При выплавке ферросилиция марки ФС75 в результате ввода в шихтовку 40кг угля Б произошло:

- повышение производительности на 7,51 %;
- снижение удельного расхода электроэнергии на 280 кВт*ч/т (-3,2%) ;
- сокращение расхода кокса на 16,23 %.

Анализ работы печи №15 с использованием бурого угля

Сортамент ферросилиция и показатели его выплавки на печи №15 за период август-декабрь 2021г. представлены в таблице 6.

Из таблицы 6 следует, что удельные технологические показатели работы печи № 15 при выплавке ферросилиция марок ФС75 и ФС65 в периоды использования шубаркольского угля марки Д или бурого угля – изменялись незначительно.

При выплавке ФС75 с использованием шихтовки "кокс+30Д+70 щепы" удельный расход электроэнергии был ниже на 1,34-1,41% по сравнению с шихтовками на буром угле. Увеличение навески щепы до 100кг/колошу сопровождалось повышением производительности, но и ухудшением показателя удельного расхода электроэнергии.

Таблица 5 - Показатели работы печи №13 с использованием бурого угля

Показатель	Ед. изм.	с 14.04. по 24.04.21	с 15.11 по 24.11.21	Изменения относи- тельно периода 0/50Щ		с 14.10. по 20.10.21	с 26.11 по 20.12.21	Изменения относи- тельно периода 0/70Щ	
		ФС75				ФС65			
		0/50Щ	40Б/50Щ	абс	%	0/70Щ	40Б/50Щ	абс.	%
Съем ЭЭ	МВт*ч/ сут	445,6	463,8	18,2	4,08	448,2	475,0	26,8	5,98
Производитель- ность	баз.т/ сут	50,07	53,83	3,76	7,51	61,78	66,80	5,0	8,13
Удельный расход ЭЭ	МВт*ч /баз.т	8,900	8,620	-0,280	-3,20	7,254	7,110	-0,144	-1,99
кварцит	т/баз.т	1,810	1,820	0,010	0,42	1,491	1,494	0,003	0,19
кокс (сухой)	т/баз.т	0,80	0,67	-0,13	-16,23	0,639	0,559	-0,08	-12,57
Уголь Б (влажный)	т/баз.т		0,36				0,298		
щепа	т/баз.т	0,45	0,45	0,01	0,6	0,514	0,372	-0,1	-27,61
стружка	т/баз.т	0,21	0,24	0,03	13,02	0,313	0,312	0,0	-0,17

Таблица 6 - Показатели работы печи №15 с использование бурого угля в шихтовке

Показатель	Ед. изм.	с 11.08 по 31.08	с 11.11 по 18.11	Изменения относительно периода 30Д/70Щ		с 02.12 по 10.12	Изменения относительно периода 30Д/70Щ		с 01.09 по 29.09	с 04.11 по 09.11	Изменения относительно периода 30Д/70Щ		с 12.12 по 24.12	Изменения относительно периода 30Д/70Щ	
		ФС75							ФС65						
		30Д/70Щ	60Б/70Щ	абс	%	60Б/100Щ	абс	%	30Д/70Щ	60Б/50Щ	абс	%	60Б/100Щ	абс	%
Съем ЭЭ	МВт*ч/сут	467,5	460,0	-7,5	-1,60	475,7	8,20	1,75	467,6	492,5	24,87	5,3	488,0	20,41	4,4
Производительность	баз.т/сут	53,94	52,38	-1,56	-2,89	54,12	0,18	0,33	64,13	67,58	3,45	5,4	65,42	1,29	2,0
Удельный расход ЭЭ	МВт*ч/баз.т	8,667	8,783	0,116	1,34	8,789	0,12	1,41	7,292	7,287	0,005	-0,07	7,460	0,17	2,3
кварцит	т/баз.т	1,700	1,710	0,01	0,45	1,70	0,01	0,23	1,460	1,440	-0,02	-1,4	1,47	0,01	1,0
кокс (сухой)	т/баз.т	0,617	0,590	0,03	-5,00	0,60	-0,03	-3,18	0,51	0,52	0,01	1,2	0,52	0,01	1,5
Уголь Б (влажный)	т/баз.т	-	0,36	0,36		0,36	0,36			0,30	0,30		0,30	0,30	
уголь Д (влажный)	т/баз.т	0,210	-			-			0,17						
щепа	т/баз.т	0,410	0,410	0,0	0,00	0,59	0,18	43,11	0,39	0,33	-0,07	-16,9	0,47	0,07	18,1
стружка	т/баз.т	0,21	0,22	0,0	4,48	0,21	0,00	-2,23	0,31	0,30	-0,01	-2,8	0,28	-0,03	-8,5
Данные за 16.09 исключены из анализа из-за длительного простоя 2 часа 25мин -чистка АГО иГЗП, устранение течи воды т/т7 Данные за 21.09 исключены из анализа из-за длительного простоя 2 часа 45мин-устранение течи воды т/т 6															

Повышение навески щепы с 50-70кг/колошу до 100кг/колошу при выплавке ФС65 и ФС75 не способствует улучшению технологических показателей производства, но стоимость восстановительной смеси повышается.

Выводы:

1) На закрытых печах №12,13 УПФ №3 в результате использования шихтовки "кокс+40уголь Б+50щепа" отмечено улучшение технологических показателей производства ферросилиция марки ФС75 и ФС65.

2) На печи №12 снижение удельного расхода электроэнергии при выплавке сплава марки ФС65 составило 63кВт*ч/т (-0,9%), расход кокса как самого дорогого углеродистого восстановителя и щепы уменьшился, соответственно, на 13,7 % и 17,2 %.

3) На печи №13 при выплавке сплаве ФС65 отмечено повышение производительности на 8,13 %, снижение удельного расхода электроэнергии на 144 кВт*ч/т (-1,99 %). На сплаве ФС75 повышение производительности составило 7,51 %; удельный расход электроэнергии снизился на 280 кВт*ч/т (-3,2 %).

4) На печи №15 замена шихтовки "кокс +30Д+70щепа" шихтовкой "кокс+60уголь Б+50-70 Щепа" не сопровождалась существенным улучшением показателей производства, хотя температурные условия работы оборудования – улучшились

5) Увеличение навески щепы до 100кг/колошу на печи №15 при выплавке ферросилиция марок ФС65 и ФС75 не сопровождается улучшением удельных технологических показателей, но стоимость восстановительной смеси "кокс+уголь+щепа" – повышается.

Библиографический список

1. Страхов В.М., Кашлев И.М., Соловьев М.А., Калиакпаров А.Г. Научные и практические основы бескоксового производства кремнистых ферросплавов // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 4. С. 465-479.

2. Страхов В.М., Суровцева И.В. Отчет о НИР по «Исследование физико-химических свойств углеродистых восстановителей ОАО «Кузнецкие Ферросплавы» / Страхов В.М., Суровцева И.В. [и др.] // ФГУП «Восточный научно-исследовательский углехимический институт» (ВУХИН) Кузнецкий центр. Новокузнецк. 2006.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКАЛИНООБРАЗОВАНИЯ ПРИ НАГРЕВЕ СЛИТКОВ НА ПРОКАТ АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Сало А.А., Мосин Р.А.

Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Дмитриенко В.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

На основании анализа литературных и производственных данных охарактеризовано влияние технологических параметров нагрева слитков под прокат на интенсивность окалинообразования.

Приведено описание методов снижения окалинообразования, в том числе применение режимов нагрева, обеспечивающих уменьшение времени нахождения слитков при высокой температуре, методов нанесения защитного покрытия на поверхность слитков перед их нагревом. В качестве примера первой группы методов представлено описание режимов нагрева слитков с «жидкой» сердцевиной, где уменьшение времени нагрева обеспечивается за счет использования избыточного теплосодержания слитков в момент их посада в нагревательные колодцы.

Ключевые слова: окалинообразование, нагрев, температурный интервал, дефект, примеси, процесс окисления, нагревательные колодцы.

Окалинообразование является сложным физико-химическим процессом, на протекание которого одновременное влияние оказывает множество факторов, в том числе помимо температурно-скоростных параметров нагрева также и состав атмосферы нагревательной печи, химический состав нагреваемого металла. В соответствии с этим перечень методов уменьшения окалинообразования является достаточно широким.

Нагрев слитков под дальнейшую прокатку производится с целью повышения пластичности стали и позволяет значительно снизить нагрузку на оборудование прокатного стана. При этом следует учитывать, что принятый температурно-скоростной режим нагрева слитков оказывает значительное влияние на их качество и потери металла в виде угара и окалины. При использовании оптимальных режимов нагрева слитков значительно снижается риск образования дефектов, переходящих на готовый прокат, а также снижаются безвозвратные потери металла, что в конечном итоге уменьшает себестоимость готового проката. На практике для каждой группы марок стали существует определенный оптимальный температурный интервал нагрева слитков, обеспечивающий минимальный риск образования дефектов.

При нагреве поверхность стали окисляется и покрывается слоем окалины. Слой окалины представляет собой смесь окислов железа и его примесей различной степени окисления. Главными составляющими окалины яв-

ляются (рисунок 1.):

1) FeO – закись железа, или вюстит, устойчивая при температуре выше 570°C и плавящаяся при 1377°C (внутренний слой);

2) Fe_3O_4 – закись и окись железа, или магнетит, устойчивая при всех температурах вплоть до точки плавления 1580°C (средний слой);

3) Fe_2O_3 – окись железа, или гематит, устойчивая при всех температурах вплоть до точки плавления 1565°C (наружный слой).

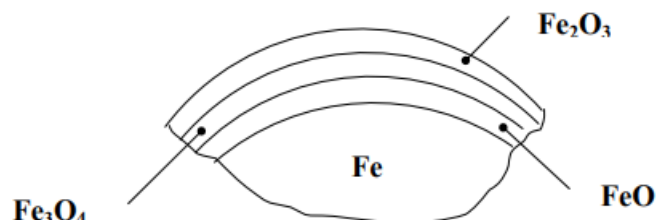


Рисунок 1 – Схема образования окалины на поверхности слитка при его нагреве

Наружный слой очень тонкий. Второй и третий – богаты легирующими элементами. Чем больше $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$, тем сильнее прилипает окалина к металлу. Наиболее прочно держится окалина, образованная при пониженных температурах ($900\text{-}1000^\circ\text{C}$). Окалина, или угар металла, может достигать до 2,5-5 % от первоначальной массы заготовок за один нагрев. Окалина плохо очищается от поверхности нагретых слитков и при деформации вдавливаются в тело. Количественные показатели потерь железа от окисления (угара): 1) угар по массе (%) – количество металла, окисленного при нагреве, отнесенное к первоначальной массе; 2) поверхностный угар ($\text{г}/\text{см}^2$) – количество окисленного металла, отнесенное к поверхности нагреваемого слитка или заготовки; 3) скорость окисления ($\text{г}/(\text{см}^2 \cdot \text{ч})$) – отношение угара ко времени нагрева; 4) толщина окалины (см).

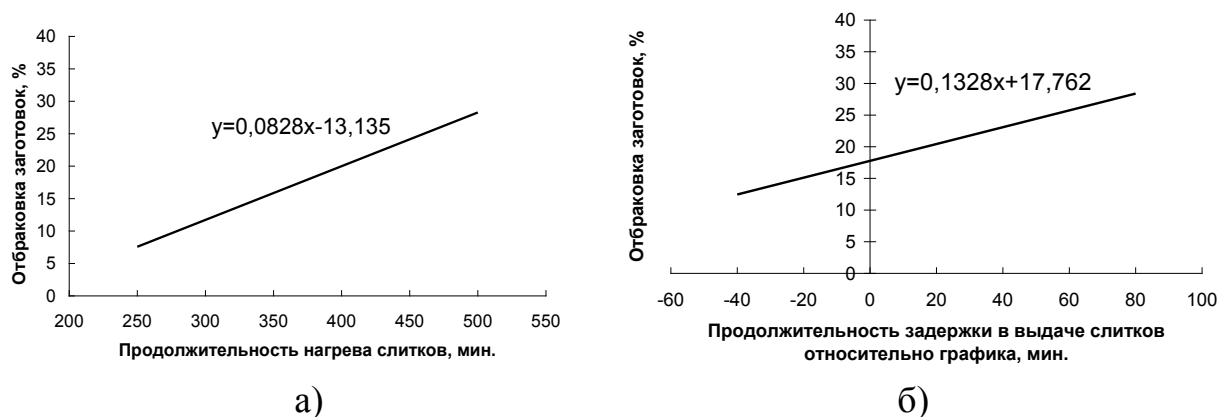
На процесс окисления влияют следующие факторы: температура, время, атмосфера печи и химический состав нагреваемого металла.

При комнатной температуре металл окисляется в виде ржавления; при нагреве до $200\text{-}300^\circ\text{C}$ появляются цвета побежалости; дальнейшее повышение температуры увеличивает интенсивность окисления и особо сильное окисление идет при температуре $1275\text{-}1375^\circ\text{C}$, когда окалина начинает оплавляться. Повышение времени нагрева приводит к увеличению толщины окалины. Для стали при температуре ниже $600\text{-}650^\circ\text{C}$ окисление практического значения не имеет. С повышением температуры угар резко возрастает. Если при температуре 900°C интенсивность образования окалины принять за единицу, то при нагреве до 1100°C она увеличивается в 3 раза, а при нагреве до 1300°C в 7 раз.

Одним из показателей, косвенно определяющим интенсивность окисления поверхности слитков кипящих и полуспокойных сталей при нагреве, является количество дефектов в виде рванин. Основной причиной появления

рванин является выход на поверхность и последующее окисление при нагреве сотовых пузырей, развитая зона которых характерна для слитков кипящей и полуспокойной стали. Увеличение времени и температуры нагрева слитков приводит к увеличению окисления и тем самым повышают вероятность выхода этих пузырей на поверхность. Так, согласно результатам исследования В.А. Паршина, Е.Г. Зудова, В.Л. Колмогорова, на Нижнетагильском металлургическом комбинате при увеличении длительности нагрева слитков сверх норматива на 1-3 ч число угловых рванин на слябах кипящей и полуспокойной стали возрастает в 4-6 раз [1].

На Нижнетагильском, Челябинском металлургических комбинатах и на комбинате «Криворожсталь» установлено, что в зависимости от температуры посадка слитков в нагревательные колодцы, выход годных заготовок изменяется в довольно значительных пределах [1,2]. Так по результатам работы, проведенной на Нижнетагильском металлургическом комбинате, В.А. Паршин, Е.Г. Зудов, В.Л. Колмогоров констатируют, что снижение температуры посадка слитков кипящих и полуспокойных марок сталей от 800 °С до 0 °С приводит к увеличению поражённости поверхности слябов угловыми рванинами в 1,5-2 раза [1]. По результатам исследований, проведенных на АО «ЕВРАЗ ЗСМК» [3] установлено, что повышение фактического времени нагрева слитков стали 20кп, а также увеличение времени «пересиживания» (выдачи позже графика) слитков данной марки стали приводит к росту отбраковки заготовок по дефектам поверхности (рисунок 2).



а – фактическое время нагрева слитков; б – время задержки в выдаче слитков относительно графика

Рисунок 2– Влияние технологических факторов прокатного передела на отбраковку заготовок конструкционной стали марки 20кп по дефектам поверхности

На интенсивность окалинообразования значимое влияние также оказывает атмосфера нагревательных колодцев, которая в зависимости от соотношения окислительных (O_2 , CO_2 , (H_2O) пар) и восстановительных (CO , H_2 , CH_4) газов может быть либо окислительной, либо восстановительной. В

обычных печах имеет место в основном окислительная атмосфера. Чем больше в печи окислительных газов, тем выше окисление. Количество указанных газов зависит от коэффициента избытка воздуха α (отношения действительного количества воздуха к теоретически необходимому для полного сжигания топлива).

При $\alpha=0,5$ окисление практически отсутствует, так как создается восстановительная атмосфера, содержащая 16,5 % CO и H₂. Однако и температура печи при этом не достигает даже 1000 °С. Обычно α составляет от 1,05 до 1,1. Наличие в печных газах серы в виде сернистого ангидрида SO₂ или сероводорода H₂S усиливает окисление и повышает содержание серы в поверхностном слое металла, что негативно отражается на качестве нагретого материала.

Влияние химического состава металла на интенсивность окалинообразования проявляется в следующем. С повышением содержания в стали углерода (С) окисление уменьшается. Чем больше в стали содержится хрома (Cr), никеля (Ni), кремния (Si), ванадия (V), алюминия (Al), тем плотнее слой окалины. При нагреве жароупорных сталей окалина особенно плотная. Это, с одной стороны, предохраняет металл от дальнейшего окисления, с другой, – крайне затрудняет очистку поверхности заготовки от образовавшейся окалины.

Основными методами снижения окалинообразования при нагреве слитков на сегодняшний день являются:

- применение режимов нагрева, обеспечивающих сокращение продолжительности нахождения слитков при высокой температуре;
- нагрев в восстановительной атмосфере, использование защитных газовых сред;
- применение защитных покрытий (специальных обмазок).

Одной из технологий, обеспечивающих уменьшение продолжительности нахождения слитков при высокой температуре, является технология нагрева слитков с «жидкой» сердцевиной.

Тот факт, что в момент посадки в колодцы слитки имеют избыточное теплосодержание за счет наличия значительного количества жидкой фазы не учитывается при разработке традиционных технологий нагрева. Первые попытки по промышленному опробованию графиков нагрева слитков, учитывающих наличие жидкой фазы в момент посадки в колодцы, в отечественной металлургии были проведены на Магнитогорском металлургическом комбинате в 60-х годах XX века. Однако, в этот период не были в достаточной степени разработаны теоретические основы процессов кристаллизации стали, что не позволило организовать промышленное внедрение данной технологии.

В 70-80-х гг. технология нагрева слитков с повышенным теплосодержанием внедрена на множестве отечественных предприятий металлургической отрасли. По результатам совместных с Всесоюзным научно-исследовательским институтом (ВНИИМТ) работ графики нагрева слитков с жидкой сердцевиной для кипящих и полуспокойных марок сталей внедре-

ны на Нижнетагильском металлургическом комбинате [4]. Выполненные Томским политехническим институтом на Карагандинском металлургическом комбинате исследования позволили внедрить технологию нагрева слитков кипящей стали с повышенным теплосодержанием [5]. На основе положительных результатов испытаний трёхступенчатого режима нагрева слитков с незатвердевшей сердцевиной, проведённых Магнитогорским металлургическим институтом [12], новый режим нагрева слитков внедрён на Магнитогорском металлургическом комбинате.

Для периода 90-е гг. XX века – начало XXI века характерно дальнейшее совершенствование режимов транспортировки и нагрева слитков с жидкой сердцевиной. В частности, в Казахстане на Карагандинском металлургическом комбинате разработали и внедрили в обжимном цехе новую технологию нагрева крупных листовых слитков с «жидкой» сердцевиной. Разработанные режимы нагрева включают в себя периоды повышения температуры при максимальной тепловой нагрузке, выдержки и томления. Данный способ нагрева позволяет избежать значительного градиента температур по сечению слитка и уменьшить угар металла, так как в рабочем пространстве колодца создаётся малоокислительная атмосфера. Применение усовершенствованной технологии нагрева слитков с не полностью закристаллизовавшейся сердцевиной позволило: обеспечить экономию топлива на 9-35 % в зависимости от типа слитков и марки стали; уменьшить количество оплавленных слитков в 2 раза; снизить брак по нагреву в 1,24 раза; уменьшить расход металла на прокат до 12 кг/т, в том числе потери с угаром на 1,26-1,42 кг/т [6].

Также снижению окалинообразования способствует скоростной нагрев, сущность которого состоит в поддержании во время нагрева большого перепада температур печи и металла. Однако применение скоростного нагрева невозможно для значительного количества сталей (выскоуглеродистые, легированные), так как в этом случае резко возрастает риск образования трещин.

Для защиты слитков от окисления применяют покрытия на основе оксидных композиций. Недостатками этих покрытий является ограниченный температурный интервал их защитного действия, низкая эффективность их использования при температурах выше 1200 °С, сильное адгезионное сцепление покрытия с поверхностью стали при нагреве заготовок до температуры выше 1200 °С, что делает практически неосуществимым процесс последующего удаления покрытия. Также известны обмазки для защиты стали от окисления, в состав которых кроме оксидной композиции, входит еще восстановитель, в частности углерод. Недостатками этих обмазок является низкая эффективность их использования при температурах выше 1150 °С и сильное сцепление обмазок с поверхностью стали при нагреве до температур выше 1150 °С.

Таким образом, используя многолетний опыт, АО «ЕВРАЗ ЗСМК» на основании результатов моделирования процессов охлаждения и затвердева-

ния слитков разработаны режимы нагрева слитков качественных кипящих сталей с повышенным теплосодержанием. Применение таких режимов позволяет более полно использовать тепло кристаллизующегося слитка, что снижает расход топлива на нагрев, уменьшает потери металла в виде угара и окалин, а также улучшает качество поверхности слитков.

Библиографический список

1. Паршин, В. А. Деформируемость и качество / В. А. Паршин, Е.Г. Зудов, В. Л. Колмогоров. – М.: Металлургия, 1979. – 192 с.
2. Шлейнинг, Л. И. Влияние температуры посадки слитков в нагревательные колодцы на качество поверхности проката / Л. И. Шлейнинг, Н. Г. Савиных, Л. И. Беляев. // Бюл. Чер. металлургия. – 1993. – №3. – С. 29-30.
3. Кузнецов, И. С. Влияние технологических факторов на качество поверхности заготовок конструкционных сталей / И. С. Кузнецов, А. Е. Прахов, А. А. Уманский, Ю. Т. Рубцов // Сталь. – 2008. – № 4. – С. 43-46.
4. Котляревский, С. М. Транспортировка и нагрев перед прокаткой слитков с незатвердевшей сердцевиной / С. М. Котляревский, А. В. Баженов, И. С. Заварова. // Чер. металлургия, Бюл. ин-та «Черметинформация», 1984. – №18. – С. 32–46.
5. Теоретическое обоснование, опытно-промышленное опробование и внедрение рациональных графиков продвижения составов и режимов нагрева плавок со слитками с незатвердевшей стадией кристаллизации на слябинге 1150 КарМК / В. В. Соломатов [и др.] // В кн.: Проблемы нагрева слитков с неполностью затвердевшей сердцевиной: Тез. докл. научн.-техн. конф., Свердловск, 1983. – С. 9–10.
6. Технология производства слябов при нагреве слитков с жидкой сердцевиной / В. В. Мантуров [и др.] // Сталь. – 1994. – №11. – С. 38–40.
7. Новые режимы нагрева слитков для прямой транзитной прокатки на комплексе слябинг – стан 1680 / В. Т. Тилик [и др.] // Сталь. – 2003. – №10. – С. 29–31.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ИНТЕНСИФИЦИРУЮЩИХ
ПРОЦЕССЫ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ КОРРОЗИИ
ЧУГУННЫХ СЕКЦИЙ ГАЗОСБОРНОГО КОЛОКОЛА
АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ЭКОСОДЕРБЕРГ**

Пинаев Е.А.¹, Домнин К.И.², Кувшинникова Н.И.²

**Научные руководители: д-р техн. наук, профессор Темлянец М.В.
канд. техн. наук, Темлянцева Е.Н.**

¹*АО «РУСАЛ Красноярск»,*

г. Красноярск, e-mail: Evgeniy.Pinaev@rusal.com

²*Сибирский государственный индустриальный университет,*

г. Новокузнецк, e-mail: uchebn_otdel@sibsiu.ru

Проведено комплексное исследование совокупности факторов, послуживших причиной интенсивной высокотемпературной газовой коррозии чугунных секций газосборного колокола электролизеров ЭкоСодерберг.

Ключевые слова: чугун, газовая коррозия, алюминиевый электролизер.

Технология ЭкоСодерберг получила широкое распространение на российских предприятиях, производящих первичный алюминий [1]. Она обеспечивает снижение вредных выбросов в атмосферу фторидов, пыли, диоксида серы и смолистых веществ [2]. Следствием реализации технологии ЭкоСодерберг послужило изменение конструкции газосборного колокола (рисунок 1) (ГСК) электролизера, и условий его эксплуатации [1].



Рисунок 1 – Газосборный колокол алюминиевых электролизеров

Секции газосборного колокола изготавливают посредством литейных технологий из высокопрочного чугуна марки ВЧ50 с шаровидным графитом. Опыт их эксплуатации в условиях АО «РУСАЛ Красноярск» и АО «РУСАЛ Новокузнецк» выявил интенсификацию коррозии секций при переходе на технологию электролиза ЭкоСодерберг [1, 3]. Коррозия чугунных секций ГСК сопровождается значительными потерями их массы, а выраженная локализация и неравномерность коррозионных процессов приводит к сквозно-

му прогару секций (рисунок 2), сокращая срок их эксплуатации. Коррозия секций ГСК является причиной загрязнения расплава первичного алюминия примесями железа, снижения его качества и сортности [1].



Рисунок 2 – Прогар чугунных секций ГСК

В связи с этим проведено комплексное исследование совокупности факторов, послуживших причиной интенсификации коррозионных процессов при переходе на технологию электролиза ЭкоСодерберг.

В результате проведенных исследований установлено, что чугунные секции ГСК эксплуатируются в условиях воздействия агрессивной высокотемпературной среды при наложении ряда отрицательных факторов, схематично представленных на рисунке 3.



Рисунок 3 – Факторы, способствующие интенсивной высокотемпературной газовой коррозии чугунных секций ГСК

По результатам математического моделирования [2] установлено, что температура газов в центральных куполах системы газоудаления достигает

800 °С. Замеры температуры поверхности чугунных секций пирометром показали, что максимальные ее значения составляют 600 – 620 °С, а минимальные находятся на уровне 220 – 230 °С [1]. Локальному росту температур может способствовать гашение анодного эффекта под секцию и наличие на внешней поверхности секции ГСК глинозема и др. материалов, снижающих теплоотвод от поверхности в окружающую среду.

При анализе температур работы чугунных секций принципиальное значение имеет вероятность перехода через эвтектоидную температуру 560 °С выше которой в окалине (продуктах коррозии) помимо гематита (Fe_2O_3) и магнетита (Fe_3O_4) образуется слой вюстита (FeO), резко интенсифицирующий процессы окалинообразования [5].

В процессе работы электролизера температура чугунных секций непрерывно меняется, что отрицательно сказывается на стойкости против высокотемпературной коррозии. По данным [5] колебания температуры, особенно попеременные нагревы и охлаждения, увеличивают скорость окисления, поскольку в защитной пленке (окалине) вследствие возникновения в ней термических напряжений образуются трещины и она отслаивается от металла.

При составе анодных газов на входе в пространство под ГСК, %: 76 CO_2 , 22 CO , 1,4 N_2 , 0,4 H_2 , 0,2 CH_4 после их дожигания средняя объемная доля газов, % на выходе составляет: 0,45 CO , 16,9 O_2 , 77,3 N_2 , 5,3 CO_2 , температура 246 °С [1, 2]. Неотъемлемой составляющей газовой атмосферы являются пары воды.

Анодные газы содержат интенсифицирующие высокотемпературную газовую коррозию чугуна фтористые соединения (HF , ≤ 300 мг/нм³), элементарную серу, оксиды серы (до 240 – 270 мг/нм³) и ванадия, смолистые вещества, основными источниками которых является криолит Na_3AlF_6 , продукты испарения электролита, анодная масса [1].

В общем случае при электролизе алюминия пылегазовая смесь может содержать газообразные компоненты: HF , CF_4 , C_2F_6 , SiF_4 , SO_2 , SO_3 , H_2S , CS_2 , COS , CO_2 , CO смолистые вещества и твердые частицы: С (углеродная сажа), Al_2O_3 , Na_3AlF_6 , $\text{Na}_5\text{Al}_3\text{F}_{14}$, K_2NaAlF_6 , AlF_3 , CaF_2 , MgF_2 [1].

По данным Ю.Г. Бобро [6, 7] весьма опасным является изменение окислительного потенциала газовой среды особенно содержащей CO и H_2 оксидная пленка, образующаяся в таких условиях на чугунах может частично восстанавливаться, становясь при этом хрупкой и пористой.

Определенную роль на процессы окисления металла и интенсивность газовой коррозии оказывает скорость газового потока. Уменьшение скорости газового потока или скорости омывания металла продуктами сгорания приводит к снижению окалинообразования. Это явление связано со снижением интенсивности подвода окислителя к поверхности окалины и металла. По мнению различных авторов [8] существует критическая скорость газов (на уровне 0,05 – 0,10 м/с), дальнейшее повышение которой не приводит к росту окалинообразования. По данным [2] скорость движения газов в подколо-

кольном пространстве достигает 0,08 м/с и находится в области критической скоростей интенсификации окисления.

Значительную роль при коррозии чугунных секций ГСК играет временной фактор, поскольку необходимый срок их эксплуатации составляет более 33 мес. В части оценки времени, применительно к чугунным секциям газосборного колокола, принципиальным является закономерность влияния этого фактора. Если в процессе нагрева не происходит разрушения слоя окалина (продуктов коррозии), то окисление подчиняется закону квадратного корня. На начальной стадии, когда поверхность металла не окислена, окалинообразование происходит интенсивно, почти линейно. Далее с увеличением времени нагрева толщина окалины увеличивается, она все в большей степени препятствует протеканию диффузионных процессов, и интенсивность окалинообразования уменьшается. В реальных условиях происходит разрушение слоя окалины (продуктов коррозии), вызванное различными факторами, что приводит к отклонению зависимости угара от времени от закона квадратного корня. Характерно, что после разрушения слоя окалины происходит интенсификация угара. Наиболее опасным с точки зрения потерь металла является «катастрофическое» окисление [8, 9]. Оно происходит в тех случаях, когда в процессе нагрева окалина удаляется с поверхности металла, например вследствие оплавления или осыпания, при этом поверхность всегда обнажена, а зависимость окисления от времени подчиняется почти линейному закону и эффект замедления окалинообразования отсутствует.

Вывод: на основании анализа результатов проведенных исследований установлена совокупность факторов, послуживших причиной интенсификации высокотемпературной газовой коррозии чугунных секций газосборного колокола алюминиевых электролизеров ЭкоСодерберг. Интенсификации коррозии и ускоренному выводу из эксплуатации чугунных секций ГСК способствовали в первую очередь повышение температур службы секций, переход на кокс с более высоким содержанием серы и ванадия, как следствие повышение содержания сернистых соединений в газах и оксидов ванадия.

Библиографический список

1. Юрьев А.Б., Темлянцев М.В., Деев В.Б., Феоктистов А.В., Пинаев Е.А. Коррозия чугунных секций газосборного колокола электролизеров ЭкоСодерберг // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2020. Т. 63. № 11-12. С. 883-890.

2. Виноградов А.М., Пинаев А.А., Виноградов Д.А. и др. Повышение эффективности укрытия электролизеров Содерберга // Металлургия цветных металлов. 2017. № 1. С. 19 – 30.

3. Пинаев Е.А., Темлянцев М.В., Темлянцева Е.Н., Кувшинникова Н.И. Исследование химического и фазового состава продуктов коррозии чугунных секций газосборного колокола алюминиевых электролизеров ЭкоСодерберг // Вестник горно-металлургической секции Российской академии

естественных наук. Отделение металлургии. 2020. № 43. С. 144-151.

4. Пинаев Е.А., Темлянцев М.В., Темлянцева Е.Н., Кувшинникова Н.И. Повышение стойкости чугуновых секций газосборных колоколов алюминиевых электролизеров ЭкоСодерберг на основе применения защитных покрытий // Вестник Российской академии естественных наук. Западно-Сибирское отделение. 2020. № 23. С. 87-94.

5. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. – М.: Металлургия, 1967. – 472 с.

6. Бобро Ю.Г. Жаростойкие и ростоустойчивые чугуны. – М.: Машгиз, 1960. – 170 с.

7. Бобро Ю.Г. Легированные чугуны. – М.: Металлургия, 1976. – 288 с.

8. Темлянцев М.В., Михайленко Ю.Е. Окисление и обезуглероживание стали в процессах нагрева под обработку давлением. – М.: Теплотехник, 2006. – 200 с.

9. Окисление металлов Т.2 / Под ред. Ж. Бенара. – М.: Металлургия, 1969. – 444 с.

УДК 669.1

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ ЧУГУНОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ЭЛЕКТРОЛИЗЕРАХ ЭКОСОДЕРБЕРГ

Пинаев Е.А.¹, Домнин К.И.², Кувшинникова Н.И.²

**Научные руководители: д-р техн. наук, профессор Темлянцев М.В.
канд. техн. наук, Темлянцева Е.Н.**

¹*АО «РУСАЛ Красноярск»,*

г. Красноярск, e-mail: Evgeniy.Pinaev@rusal.com

²*Сибирский государственный индустриальный университет,*

г. Новокузнецк, e-mail: uchebn_otdel@sibsiu.ru

Проведено исследование коррозионной стойкости чугунов с содержанием алюминия 3,6 – 13,77 % в условиях высокотемпературной газовой среды алюминиевых электролизеров ЭкоСодерберг.

Ключевые слова: алюминиевые чугуны, газовая коррозия, электролизер ЭкоСодерберг.

Опыт применения технологии ЭкоСодерберг на российских алюминиевых заводах показал снижение стойкости секций газосборного колокола (ГСК), отливаемых из высокопрочного чугуна марки ВЧ50 с шаровидным графитом. Основной причиной снижения стойкости является высокотемпературная газовая коррозия [1].

В связи с этим актуально проведение исследований по разработке кор-

розионностойких чугунов, обеспечивающих повышенный срок эксплуатации в специфичных [1] условиях эксплуатации алюминиевых электролизеров ЭкоСодерберг.

В рамках данной работы проведено исследование коррозионной стойкости алюминиевых чугунов, химический состав которых представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав экспериментальных алюминиевых чугунов

№ образца	Содержание элемента, масс. %											
	C	Mn	Si	Al	Cr	Ni	P	S	V	Mo	Co	Cu
1	2,06	0,30	0,57	10,64	0,07	0,06	0,06	0,07	0,02	0,004	0,16	0,23
2	1,67	0,28	0,74	11,85	0,07	0,07	0,06	0,04	0,02	0,004	0,18	0,17
3	1,64	0,28	0,69	13,77	0,07	0,06	0,06	0,04	0,01	0,004	0,17	0,18
4	5,99	0,89	1,02	3,60	0,08	0,11	0,08	0,02	0,01	0,008	0,18	0,19

Из чугунов отливали образцы, которые крепили к внутренней поверхности чугунной секции и устанавливали в конструкцию газосборного колокола. Таким образом, образцы находились во внутреннем пространстве электролизера и подвергался агрессивному воздействию температуры и газовой среды, аналогично секции ГСК. Периодически секцию и образцы демонтировали (рисунок 1) и определяли потерю массы образцов вследствие коррозии.



Рисунок 1 – Общий вид образцов на секции при демонтаже после эксплуатации

Микроструктура исследуемых образцов № 1, 2 и 3 состоит из зерен феррита (α -фаза), легированных алюминием, и железоалюминиевых карбидов переменного состава типа Fe_yAlC_x , где $y=1,3 - 1,6$ (рисунок 2). Графит в структуре образцов отсутствует. Весь углерод в сплаве находится в твердом растворе и связан в железоалюминиевые карбиды. Для микроструктуры образца № 4 с содержанием углерода 5,99 % и алюминия 3,6 % характерно наличие грубых выделений графита.

Результаты исследования удельных потерь массы, g образцов с единицы поверхности, cm^2 в единицу времени, $ч$ представлены на рисунке 3.

Анализ полученных результатов показывает, что алюминиевые чугуны по сравнению с серым (СЧ18) и высокопрочным чугуном с шаровидным графитом (ВЧ, ВЧ50), имеют гораздо меньшие в 10 – 20 раз удельные потери массы вследствие высокотемпературной газовой коррозии.

Полученные данные согласуются с результатами исследований [5] коррозионной стойкости алюминиевых чугунов. В качестве наиболее рационального с точки зрения минимизации коррозии можно признать содержание Al на уровне 7,5 – 9,0 %, при этом необходимо учитывать роль других элементов, в частности, углерода, а самое главное, структуры чугуна.

При проведении исследований алюминиевых чугунов определена их твердость. После изготовления твердость образцов № 1, 2, 3 составляла соответственно 478, 464 и 417 НВ. Увеличение содержания алюминия в данном случае приводит к снижению твердости чугуна. Железоалюминиевые карбиды имеют высокую твердость (700 НВ) и, располагаясь по границам кристаллов феррита, приводят к высокой твердости и хрупкости, механическая обработка таких чугунов возможна только при использовании специального инструмента.

Проведены измерения твердости алюминиевых чугунов после эксплуатации. Для чугуна образцов № 1, 2, 3 и 4 твердость составила соответственно 375 – 401, 375 – 409, 341 – 363 и 131 – 140 НВ. Как видно из полученных данных, высокотемпературная эксплуатация приводит к ощутимому снижению твердости алюминиевых чугунов.

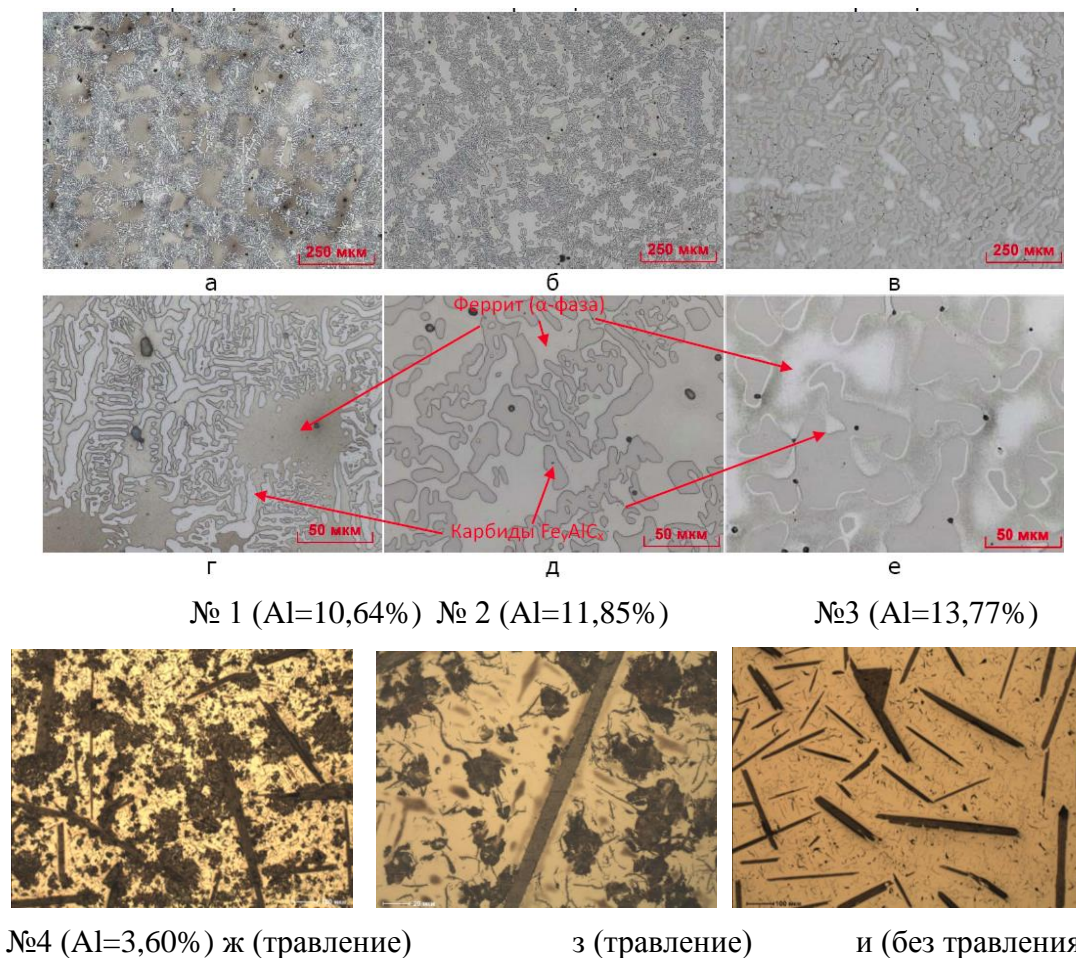


Рисунок 2 – Микроструктуры экспериментальных алюминиевых чугунов
а, б, в, ж, и – $\times 100$, г, д, е, з – $\times 500$

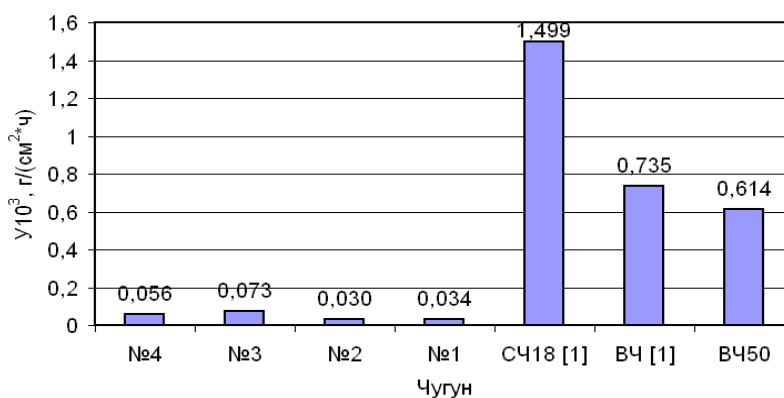


Рисунок 3 – Удельные потери массы образцов из алюминиевых чугунов и различных чугуновых секций ГСК (СЧ18 и ВЧ по данным [4])

Вывод: в результате проведенных исследований установлено, что алюминиевые чугуны с содержанием 3,6 – 13,77 % Al по сравнению с серым (СЧ18) и высокопрочными чугунами с шаровидным графитом (ВЧ, ВЧ50), имеют гораздо меньшие в 10 – 20 раз удельные потери массы вследствие высокотемпературной газовой коррозии. Наиболее рациональным с точки зрения минимизации коррозии можно считать содержание Al на уровне 7,5 – 9,0 %, при этом необходимо учитывать роль других элементов, в частности, углерода, и структуры чугуна.

Библиографический список

1. Юрьев А.Б., Темлянцев М.В., Деев В.Б., Феоктистов А.В., Пинаев Е.А. Коррозия чугуновых секций газосборного колокола электролизеров ЭкоСодерберг // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2020. Т. 63. № 11-12. С. 883-890.
2. Пинаев Е.А., Темлянцев М.В., Темлянцева Е.Н., Кувшинникова Н.И. Исследование химического и фазового состава продуктов коррозии чугуновых секций газосборного колокола алюминиевых электролизеров ЭкоСодерберг // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2020. № 43. С. 144-151.
3. Пинаев Е.А., Темлянцев М.В., Темлянцева Е.Н., Кувшинникова Н.И. Повышение стойкости чугуновых секций газосборных колоколов алюминиевых электролизеров ЭкоСодерберг на основе применения защитных покрытий // Вестник Российской академии естественных наук. Западно-Сибирское отделение. 2020. № 23. С. 87-94.
4. Малышев Г.П., Волчок И.П. Повышение эксплуатационной стойкости газосборных колоколов электролизных ванн с верхним токоподводом / Сб. науч.тр. «Металлургия». – Изд-во ЗГИА. 2005. Вып.12 С. 129 – 133.
5. Шиманский И.А. Повышение коррозионной стойкости литых чугуновых изделий в условиях высокотемпературной газовой коррозии. Автореф. канд. дис. – Красноярск. 2012. – 22 с.

СОДЕРЖАНИЕ

I ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ.....	2
ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУРНЫХ КЛАССОВ <i>Аксёнова К.В., Ващук Е.С.</i>	3
МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОЦК-КРИСТАЛЛОВ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ <i>Гостевская А.Н.</i>	6
МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОСТНОЙ ТКАНИ, РАСПОЛОЖЕННОЙ ВОЗЛЕ ИМПЛАНТАТА С ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫМ БИОИНЕРТНЫМ ПОКРЫТИЕМ СИСТЕМЫ Ti-Zr ИЛИ Ti-Nb <i>Филяков А.Д., Романов Д.А., Невский С.А.</i>	10
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТРОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ <i>Дробышев В.К., Гостевская А.Н.</i>	14
УСТАЛОСТНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО АЛЮМИНИЯ МАРКИ А5М В МАГНИТНОМ ПОЛЕ 0,2 ТЛ <i>Шляров В.В., Серебрякова А.А., Аксенова К.В.</i>	18
ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДО 0,5Тл НА ПАРАМЕТР ПЛАСТИЧНОСТИ СВИНЦА МАРКИ С2 <i>Серебрякова А.А., Шляров В.В.</i>	22
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ <i>Кузнецова В.А., Панова В.С.</i>	24
ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И МИКРОТВЕРДОСТИ ПОКРЫТИЯ ИЗ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Co-Cr-Fe-Ni, НАНЕСЕННОГО НА СПЛАВ АМг5 С ПОМОЩЬЮ ПРОВОЛОЧНО-ДУГОВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Авчинник А.В., Осинцев К.А., Панченко И.А.</i>	29
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Co-Cr-Fe-Ni, ПОЛУЧЕННОГО С ПОМОЩЬЮ ПРОВОЛОЧНО-ДУГОВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Осинцев К.А., Данилушкин В.С., Епифанцев М.А., Воронин С.В.</i> ,.....	31
ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ АЛЮМИНИЯ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ПРОВОЛОЧНО-ДУГОВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Лей Х., Чэнь С.</i>	33

II ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.....	35
ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА В РАЙОНАХ ВЕДЕНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА ПРИМЕРЕ УГЛЕРАЗРЕЗА «РАСПАДСКИЙ» И УЧАСТКА РАЗРЕЗА «ОЛЬЖЕРАССКИЙ» <i>Андропова В.С.</i>	35
СПОСОБ МЕХАНОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК <i>Курдюков М.О., Воротчек А.О., Егоров В.В., Матвеев А.В.</i>	39
ПОРЯДОК ЗАПОЛНЕНИЯ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК СПОСОБОМ МЕХАНОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ <i>Галямова А.А., Дробинин А.В., Кузнецова О.Г., Матвеев А.В.</i>	42
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДРЕНАЖА В ДАМБЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СПОСОБА МЕХАНОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ <i>Николаев А.С., Шеховцова Л.Ю., Кузнецова О.Г., Матвеев А.В.</i>	45
ПРОГНОЗ СИТОВОГО СОСТАВА ПОРОД ОТВАЛЬНОЙ СМЕСИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПОРАЗМЕРА ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ <i>Курдюков М.О., Хлызова Н.С., Овечкин В.В., Матвеев А.В.</i>	49
СОЦИАЛЬНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ <i>Лобанова О.О., Овечкин В.В., Матвеев А.В.</i>	52
РАСЧЕТ ПРУДКА-ОТСТОЙНИКА ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ <i>Лобанова О.О., Боровцов А.С., Матвеев А.В.</i>	56
ВЫБОР СХЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ТЕХНОЛОГИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ <i>Лобанова О.О., Миков А.К., Курдюков М.О., Матвеев А.В.</i>	62
КОМБИНИРОВАННОЕ ПРОВЕТРИВАНИЕ РУДНИКА В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА <i>Ворсина А.М., Агеев Дан.А.</i>	67
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ПЕРЕХОДУ К ОМПЛЕКСНО-МЕХАНИЗИРОВАННОГО ЗАБОЯ ПЕРЕДОВЫХ ВЫРАБОТОК БЕЗ СНИЖЕНИЯ НАГРУЗКИ НА ОЧИСТНОЙ ЗАБОЙ <i>Агеев Дан.А., Ворсина А.М.</i>	71
ТЕХНОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОМОНИТОРНЫХ АГРЕГАТОВ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ <i>Альвинский Я.А. Григорьев А.А.</i>	75
ОБ ОЦЕНКЕ ВЗРЫВООПАСНОСТИ РУДНИЧНОЙ АТМОСФЕРЫ ПРИ ВЕДЕНИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ <i>Хабibuлова А.Р.</i>	78

СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЕДЕНИИ РАБОТ ПО ЛОКАЛИЗАЦИИ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИЙ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ <i>Розум И.Г.</i>	82
ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА <i>Подосинников М.В., Иванов Е.С.</i>	85
ГЕНЕРАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ <i>Подосинников М.В., Иванов Е.С.</i>	89
АППАРАТ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РЕЗКИ МАССИВА ПОРОД И РАСШИРЕНИЯ СКВАЖИН <i>Альвинский Я.А., Григорьев А.А., Мананников С.Д.</i>	92
БЕЗЛЮДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОТРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ <i>Альвинский Я.А., Григорьев А.А.</i>	96
БЕЗЛЮДНОЕ ПРОВЕДЕНИЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК <i>Альвинский Я.А., Григорьев А.А.</i>	101
ПРИМЕНЕНИЕ БЕЗЛЮДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ <i>Альвинский Я.А., Григорьев А.А.</i>	105
РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ <i>Елкина Д.И.</i>	108
РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОНОРЕЛЬСОВЫХ СИСТЕМ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ КУЗБАССА <i>Елкина Д.И., Мусеев А.К.</i>	112
ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБУЧАЮЩЕ-ТЕСТИРУЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНОЛОГИЯ ОТРАБОТКИ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ» <i>Лесных А.С., Мусеев А.К.</i>	116
ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ И БЕЗОПАСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ МЕЖШТРЕКОВЫХ ЦЕЛИКОВ <i>Лесных А.С., Мусеев А.К.</i>	119
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ <i>Лесных А.С.</i>	122
БЛОЧНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ <i>Мананников С.Д., Панфилов В.Д.</i>	125
АНАЛИЗ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ <i>Мананников С.Д.</i>	130
ПЛАНИРОВАНИЕ ГОРНЫХ РАБОТ БЕЗ ФИЗИЧЕСКОГО ВМЕШАТЕЛЬСТВА В РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА <i>Мананников С.Д., Панфилов В.Д.</i>	133

ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВОГО ПЛАНШЕТА «УМНЫЙ НАПАРНИК» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И СНИЖЕНИЯ РИСКА АВАРИЙ НА УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ <i>Панфилов В.Д., Мананников С.Д.</i>	137
РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ КУЗБАССА <i>Ворсина А.М., Агеев Д.А.</i>	141
МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ СХОДОВ ПОРОДЫ ОТВАЛА И РЕКУЛЬТИВАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ООО «РАЗРЕЗ «КИЙЗАССКИЙ» <i>Ворсина А.М.</i>	145
ВЛИЯНИЕ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» НА ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА <i>Ворсина А.М., Агеев Д.А.</i>	150
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБХОДА ИНСПЕКЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СТАЦИОНАРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ <i>Ворсина А.М.</i>	154
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗА ПОЯВЛЕНИЙ ГОРНЫХ УДАРОВ НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ ГОРНОЙ ШОРИИ <i>Михно А.Р.</i>	157
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ АНКЕРНОЙ, РАМНОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ КРЕПИ В УСЛОВИЯХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ШАХТЫ «ЕРУНАКОВСКАЯ-VIII» <i>Елкина Д.И.</i>	160
ИСТОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕГАЗАЦИИ ВЫСОКОГАЗОНОСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ <i>Крестьянинов А.В., Шмаков И.К., Крестьянинова Н.А.</i>	165
РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННЫХ ВАРИАНТОВ КРЕПЛЕНИЯ ВЫРАБОТОК, ПРОЙДЕННЫХ ПО ПОЧВЕ МОЩНОГО ПОЛОГОГО ПЛАСТА В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ «СИБИРГИНСКАЯ» <i>Тайлаков А.О.</i>	169
ВНЕДРЕНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ НЕГАТИВНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА АО РАЗРЕЗ «МЕЖДУРЕЧЬЕ» <i>Апёнкин Д.Е.</i>	173
РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ВЛИЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ СОЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ <i>Апёнкин Д.Е.</i>	178
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОСАМОСВАЛОВ ДЛЯ РАБОТЫ НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА <i>Михайлов Д.А.</i>	183
СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА РАЗРЕЗЕ «ВИНОГРАДОВСКИЙ» <i>Михайлов Д.А., Коновалова О.Ю.</i>	188

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ <i>Тайлаков А.О., Кундро К.А.</i>	192
ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА НА УГОЛЬНОЙ ШАХТЕ <i>Тайлаков А.О., Кундро К.А.</i>	197
АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ГОРНОРУДНОЙ ОТРАСЛИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН <i>Никитина А.М., Риб С.В.</i>	201
РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕР ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗВИТИЯ ГОРНОРУДНОЙ ОТРАСЛИ В РОССИИ <i>Никитина А.М., Риб С.В.</i>	204
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕСПЕРЕБОЙНОЙ РАБОТЫ МЕЛЬНИЦ МОКРОГО САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ <i>Гельгенберг И.О., Садов Д.В.</i>	209
АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ИМПОРТНОГО ПРОХОДЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ШАХТАХ КУЗБАССА <i>Гельгенберг И.О.</i>	213
III МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ	219
БРИКЕТИРОВАННАЯ ШИХТА ДЛЯ ВЫПЛАВКИ КРЕМНИСТЫХ СПЛАВОВ <i>Мосин Р.А. Лазаревская М.Н. Лазаревский П.П.</i>	219
ПОЛУЧЕНИЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ ИЗ ВЫСОКОЗОЛЬНЫХ УГЛЕЙ <i>Мосин Р.А., Лазаревская М.Н., Лазаревский П.П.</i>	226
ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ВЫПЛАВКИ ФЕРРОСИЛИЦИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГАЗООБРАЗНОГО АЗОТА <i>Лазаревская М.Н. Лазаревский П.П.</i>	229
КОМБИНИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА КАК СПОСОБ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ <i>Кашин С.С.</i>	233
ПОЛУЧЕНИЕ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ ЧУГУНОВ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ЛЕГИРОВАНИЯ <i>Трошкин М.В., Лазаревский П.П.</i>	237
РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ И ВЫБОРУ ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ РОТОРНЫХ ПЕЧЕЙ <i>Трошкин М.В. Лазаревский П.П.</i>	243
АНАЛИЗ ГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ ЧУГУНОВ ВЧ50 И ЧХ3 <i>Арапов С.Л., Мурзин А.К., Давыдыч Р.Е.</i>	247
ЦИФРОВИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЕМ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ <i>Кокорин В.С., Буркова А.А., Морозов М.А.</i>	252

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОРИСТЫХ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК <i>Лепихов В.С.</i>	257
ЦИФРОВИЗАЦИЯ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Мурзин А.К., Кокорин В.С., Давыдыч Р.Е., Морозов М.А.</i>	261
ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРОЧНОГО ФЛЮСА ИЗГОТОВЛЕННОГО ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ ПП-НП-35В9Х3СФ <i>Михно А.Р., Шевченко Р.А., Жуков А.В.</i>	266
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА УДАРНУЮ ВЯЗКОСТЬ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ <i>Чумачков И.И., Михно А.Р.</i>	271
ВЛИЯНИЕ ВЫЛЕЖИВАНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ <i>Чумачков И.И., Михно А.Р.</i>	276
ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ИЗНОСА <i>Казарян Л.А., Полегешко С.А., Бабин Н.С.</i>	280
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ <i>Полегешко С.А., Казарян Л.А.</i>	283
ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДОСТИ ОБРАЗЦОВ НА ПОДОШВУ И ГОЛОВКУ РЕЛЬСОВ Э90ХАФ ПО МЕТОДУ БРИННЕЛЯ ПОСЛЕ СВАРКИ НА КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ МАШИНЕ МСР – 63.01А <i>Азаренков И.А., Алимарданов П.Э.</i>	288
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНТАКТНО-СТЫКОВОЙ СВАРКИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННО- ТЕРМОУПРОЧНЕННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ <i>Бабин Н.С. Полегешко С.А. Казарян Л.А.</i>	290
ДЕФЕКТЫ РЕЛЬСОВ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ <i>Буркова А.А., Алимарданов П.Э., Азаренков И.А.</i>	293
АНАЛИЗ ТЕПЛОЙ РАБОТЫ КИСЛОРОДНОГО КОНВЕРТЕРА ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛИ <i>Дида Н.И., Рябинин А.С., Лопатина А.О., Чернова А.А.</i>	297
ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ ОБРАЗЦОВ С КОНЦЕНТРАТОРОМ НАПРЯЖЕНИЙ <i>Серегина А.А.</i>	301
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЛАЗМОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ДИБОРИДА ХРОМА <i>Лепихов В.С.</i>	304

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОДИСПЕРСНОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ – УПРОЧНЯЮЩЕЙ ФАЗЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ И ХРОМА <i>Безрукова Е.С.</i>	307
РАСШИРЕНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ЗА СЧЕТ ОСВОЕНИЯ НОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Федулова А.В.</i>	311
АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОИЗВОДСТВА ПРОКАТА НА НЕПРЕРЫВНОМ СРЕДНЕСОРТНОМ СТАНЕ 450 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Пак В.Е., Маркалин Ю.А., Зохидов Х.Н.</i>	314
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ УЗЛОВ ПРОКАТНОЙ КЛЕТИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ГОТОВОГО ПРОКАТА НА МЕЛКОСОРТНОМ СТАНЕ 250-1 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Маркалин Ю.А., Зохидов Х.Н., Пак В.Е.</i>	319
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СОРТОВОГО ПРОКАТА <i>Вахроломеев В.А., Глухов М.И., Захидов Х.М., Маркалин Ю.А.</i>	325
АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ НА СРЕДНЕСОРТНОМ СТАНЕ 450 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Зохидов Х.Н., Маркалин Ю.А., Пак В.Е.</i>	327
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СЛИТКОВ ИЗ ПОРШНЕВЫХ СИЛУМИНОВ НА ОСНОВЕ Al-15 % Si <i>Прудников В.А., Рексиус В.С.</i>	332
ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ШИХТЫ И РАСПЛАВА НА МИКРОСТРУКТУРУ СИЛУМИНОВ С 3-15% Si <i>Ломиворотов Н.П., Полунин А.М., Юркина М.С.</i>	335
РЕЛЬСОВАЯ СТАЛЬ: МАРКА И ХАРАКТЕРИСТИКИ <i>Михеева Д.В.</i>	341
ВОЗДЕЙСТВИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ <i>Полунин А.М., Ломиворотов Н.П., Юркина М.С.</i>	346
ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СПЛАВА AL-11%Si <i>Юркина М.С., Полунин А.М., Ломиворотов Н.П.</i>	350
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СВАРКИ ПОД НОВЫМ МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩИМ ФЛЮСОМ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ИЗ СТАЛИ 09Г2С <i>Гусева Д.А.</i>	355
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛИЧЕСКОЙ КОВКИ НА СВОЙСТВА СТАЛИ 10 <i>Закирова Ш.К.</i>	359

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ ПОРШНЯ ИЗ СПЛАВА АК21 <i>Зокирова Г.К.</i>	362
СТРУКТУРА СЛИТКА ПОЛУНЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ИЗ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА <i>Рексиус В.С.</i>	366
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОДАВАЕМОГО ВОЗДУХА НА ПРОЦЕСС АГЛОМЕРАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ <i>Сафонов С.О., Пушкина Е.И., Дида Н.И., Лопатина А.О.</i>	370
ПОТЕРИ БЕНЗОЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ: ПРИЧИНЫ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО УСТРАНЕНИЮ <i>Яковлева Д.Д.</i>	374
АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ АБСОРБЦИИ БЕНЗОЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ КОКСОВОГО ГАЗА <i>Яковлева Д.Д.</i>	377
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОКАТКИ РЕЛЬСОВ НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ РЕЛЬСОВЫХ СТАЛЕЙ <i>Новожилов И.С., Полевой Е.В., Рубцов В.Ю., Непряхин С.О.⁴</i>	381
ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНАЯ ДЛИНА ДЛИННОМЕРНОЙ РЕЛЬСЫ В РОССИИ <i>Белолипецкая Е.С.</i>	386
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГОРЯЧЕБРИКЕТИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗА НА ПАРАМЕТРЫ ПЛАВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО ЧУГУНА В ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ <i>Рябинин А.С., Сафонов С.О., Лопатина А.О.</i>	392
РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ РЕЖИМОВ СВАРКИ РЕЛЬСОВ КОНТАКТНО - СТЫКОВЫМ СПОСОБОМ НА МАШИНЕ МСР 63.01 А <i>Алимарданов П.Э., Азаренков И.А.</i>	395
АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЫПЛАВКИ ФЕРРОСИЛИЦИЯ МАРОК ФС75 И ФС65 В ЗАКРЫТЫХ ПЕЧАХ №12,13,15 АО "КФ" С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БУРОГО УГЛЯ ОТ ПОСТАВЩИКОВ ООО "РЕСУРСУГОЛЬ" И ООО "КАЙЧАКУГЛЕСБЫТ" <i>Мосин Р.А., Сало А.А.</i>	397
ИССЛЕДОВАНИЕ ОКАЛИНООБРАЗОВАНИЯ ПРИ НАГРЕВЕ СЛИТКОВ НА ПРОКАТ АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Сало А.А., Мосин Р.А.</i>	405
ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ИНТЕНСИФИЦИРУЮЩИХ ПРОЦЕССЫ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГАЗОВОЙ КОРРОЗИИ ЧУГУННЫХ СЕКЦИЙ ГАЗОСБОРНОГО КОЛОКОЛА АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ ЭКОСОДЕРБЕРГ <i>Пинаев Е.А., Домнин К.И., Кувшинникова Н.И.</i>	411
ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ ЧУГУНОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ЭЛЕКТРОЛИЗЕРАХ ЭКОСОДЕРБЕРГ <i>Пинаев Е.А., Домнин К.И., Кувшинникова Н.И.</i>	415

Научное издание

НАУКА И МОЛОДЕЖЬ: ПРОБЛЕМЫ, ПОИСКИ, РЕШЕНИЯ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Выпуск 26

*Труды Всероссийской научной конференции студентов,
аспирантов и молодых ученых*

Часть I

Под общей редакцией
Технический редактор
Компьютерная верстка

С.В. Коновалова
Г.А. Морина
Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 11.05.2022 г.

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 25,06 Уч.-изд. л. 32,2 Тираж 300 экз. Заказ № 127

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
Издательский центр СибГИУ