

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Сибирский государственный индустриальный университет»  
Российская академия естественных наук

**ВЕСТНИК  
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ  
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

Отделение металлургии

*Сборник научных трудов*

*Издается с 1994 г. ежегодно*

Выпуск 18

Под редакцией профессора Г.В. Галевского

Москва  
Новокузнецк  
2007

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

В 387

**В 387 Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии:** Сборник научных трудов. Вып. 18 / Редкол.: Г.В. Галевский (главн. ред.) и др.: Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2007. – 208 с., ил.  
ISBN 5–7806–0250–6

Препринтное издание сборника статей, подготовленных авторскими коллективами, возглавляемыми действительными и почетными членами и членами-корреспондентами РАЕН, других профессиональных академий, профессорами вузов России. Представлены работы по различным направлениям исследований в области металлургии черных и цветных металлов и сплавов, порошковой металлургии и композиционных материалов, физики металлов и металловедения, экономики и управления на предприятиях, проблем высшего образования.

Федеральная целевая программа «Интеграция».

Сборник реферируется в РЖ Металлургия.

Ил. 45, табл. 33, библиогр. назв. 124.

*Редакционная коллегия:* д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, вице-президент РАЕН *В.Ж. Аренс*; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН *Г.В. Галевский* (главн. редактор), СибГИУ; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, чл.-корр. РАН *А.В. Елютин*, Гиредмет; к.х.н., проф., д.ч. МАНЭБ *Н.М. Кулагин*, СибГИУ; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН *В.А. Роменец*, МИСиС; к.х.н., проф., советник РАЕН *В.В. Руднева* (отв. секретарь), СибГИУ; к.т.н., доц., советник РАЕН *М.В. Темлянецов* (отв. секретарь), СибГИУ; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН *В.С. Стрижко*, МИСиС; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН *Г.И. Эскин*, ВИЛС.

*Рецензент:* профессор, доктор технических наук, д.ч. МАН ВШ  
*С.М. Кулаков*

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

© Сибирский государственный индустриальный университет, 2007

ISBN 5–7806–0250–6

## СВЕДЕНИЯ О РУКОВОДИТЕЛЯХ АВТОРСКИХ КОЛЛЕКТИВОВ

Быстров В.А.	д-р техн. наук, проф., НФИ КемГУ, г. Новокузнецк
Галевский Г.В.	д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк
Громов В.Е.	д-р физ.-мат. наук, проф., д.ч. Международной академии энерго-информационных наук, Сиб- ГИУ, г. Новокузнецк
Дегтярь В.А.	д-р хим. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Козлов Э. В.	д.ф.-м.н., проф., академик МАН ВШ, ТГАСУ, г. Томск
Кулагин Н.М.	канд. хим. наук, проф., д.ч. МАНЭБ, СибГИУ, г. Новокузнецк
Кулаков С.М.	д-р техн. наук, проф., д.ч. МАН ВШ, г. Новокузнецк
Нохрина О.И.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Павленко С.И.	д-р техн. наук, проф., чл.-корр. Международ- ной Академии инженерных наук, д.ч. Нью- Йоркской АН, д.ч. МАН ВШ, СибГИУ, г. Новокузнецк
Перетяцько В.Н.	д-р техн. наук, проф., чл.-корр. Академии ин- женерных наук, СибГИУ, г. Новокузнецк
Полторацкий Л.М.	д-р техн. наук, с.н.с., ОАО «ЗСМК», г. Новокузнецк
Протопопов Е.В.	д-р техн. наук, проф., чл.-корр. Международ- ной академии энерго-информационных наук, СибГИУ, г. Новокузнецк
Селянин И.Ф.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Тхай В.Д.	д-р хим. наук, проф., ЕГМА, г. Екатеринбург

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	7
МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ .....	8
<i>Л.М. Полторацкий, И.А. Барнаев</i> Черная металлургия России и мировой рынок стали .....	9
<i>А.А. Пермяков, И.И. Сычев, Т.И. Сычева, А.А. Назарова</i> Сырьевая база титана Сибири.....	16
<i>М.В. Темлянец, О.И. Нохрина, А.Ю. Сюсюкин</i> Исследование закономерностей окисления и обезуглероживания непрерывнолитых заготовок рельсовой стали при нагреве в методической печи с шагающими балками .....	23
<i>А.Ю. Сюсюкин, О.И. Нохрина, М.В. Темлянец</i> Исследование теплового состояния непрерывнолитых заготовок рельсовой стали при нагреве в методической печи с помощью тепловизионного метода .....	27
<i>Н.В. Темлянец</i> Особенности строения поверхности раздела окалина-металл при нагреве стали под прокатку.....	31
<i>О.И. Нохрина, А.П. Коробейников, И.Е. Прошунин</i> Исследование процесса спекания сульфата и хлорида натрия с минералами марганцевого концентрата.....	34
<i>В.Н. Кадыков, А.А. Уманский</i> Исследование влияния технологических факторов на качество поверхности заготовок конструкционных марок сталей.....	40
<i>Р.Ф. Нугуманов, Е.В. Протопопов, Е.П. Волюнкина, Н.А. Халаман,</i> <i>Л.А. Ганзер</i> Повышение эффективности применения твердого топлива для снижения расхода чугуна в конвертерах.....	49
<i>Р.А. Гизатулин</i> Влияние интенсивности подачи газа и глубины погружения фурмы на продолжительность гомогенизации .....	57
<i>В.Н. Перетяцько, А.В. Бахаев, С.А. Вахман, М.В. Филиппова</i> Выбор размеров заготовки при штамповке шара .....	64
<i>М.И. Карпенко, В.А. Долинский, В.М. Страхов</i> Технология агломерации при частичной замене коксовой мелочи буроугольным полукоксом .....	69
<i>И.Ф. Селянин, А.В. Феоктистов, С.А. Бедарев</i> Практические аспекты интенсификации ваграночного процесса путем обогащения дутья кислородом .....	78

<i>В.Б. Деев, В.А. Дегтярь, И.Ф. Селянин</i>	
Комплексный контроль качества литейных сплавов.....	82
<i>Е.В. Протопопов, В.В. Соколов, Д.Б. Фойгт, С.В. Фейлер, Л.А. Ганзер</i>	
Разработка составов шлакообразующих смесей для непрерывной разливки стали.....	86
<i>В.Г. Кондратьев, Н.В. Котова, Ю.В. Кутукова</i>	
Определение прочностных характеристик сталей методом скручивания...	94
<b>ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....</b>	<b>99</b>
<i>В.В. Руднева</i>	
Исследование синтеза конструкционного карбида кремния карбидизацией порошкообразного кремния углеводородами в плазменном потоке азота	100
<b>ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>106</b>
<i>Е.А. Будовских, В.А. Петрунин, В.Я. Целлермаер, В.Е. Громов</i>	
Формирование градиентных структурно-фазовых состояний при электровзрывном легировании железа и никеля.....	107
<i>О.Ю. Ковалик, В.Д. Тхай</i>	
Коррозия металлов IV-VB групп в солевых расплавах и методы их защиты .....	113
<i>В.И. Данилов, Д.В. Валугев, Ю.Ф. Иванов, А.М. Анасов</i>	
О возможных причинах брака крупнотоннажных заготовок из низкоуглеродистой марганцевой стали на ПО «Юрмаш».....	118
<i>В.А. Малиновская, Н.А. Попова, Э.В. Козлов</i>	
Перераспределение элементов внедрения и замещения при нитроцементации стали 20X2H4A и влияние последующих термообработок .....	125
<b>ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ .....</b>	<b>131</b>
<i>С.Г. Галевский</i>	
Экономическая добавленная стоимость как инструмент эффективного управления компанией.....	132
<i>О.А. Стародумова, В.В. Черкасова</i>	
Организация сбыта металлопродукции: мировой опыт и российские тенденции .....	143
<i>В.А. Быстров, Н.Ю. Грекова, О.Г. Трегубова</i>	
Управление качеством готового проката как основы его конкурентоспособности .....	148
<i>Г.Н. Ильина, А.В. Феоктистов, О.Г. Ротенберг, Д.М. Синицын, А.Г. Мархинина</i>	
Реализация процессного подхода на предприятиях с функциональной структурой управления .....	156

<i>А.А. Одинцов, В.А. Долинский</i> Комплексная технология переработки металлургических шламов на ОАО «ЗСМК» .....	163
<i>Е.В. Корнеева, С.И. Павленко</i> Разработка состава бесцементного вяжущего с использованием сталелитейных шлаков и других промышленных отходов .....	169
<i>Н.В. Журавлева</i> Изучение распределения полициклических ароматических углеводородов в отходах коксохимического производства .....	175
<b>ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ .....</b>	<b>181</b>
<i>Н.М. Кулагин, Г.В. Галевский, В.П. Дмитрин, А.А. Кулагин, М.В. Темлянец, Е.Г. Майсеенок</i> Воспроизводство инженерных кадров для горно-металлургического и строительного комплекса юга Кузбасса и эффективность их использования .....	182
<i>С.М. Кулаков, Н.Ф. Бондарь, А.А. Башмакова</i> О совершенствовании действующей системы рейтингового управления деятельностью кафедр университета.....	199
<b>К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ .....</b>	<b>206</b>

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

18-й выпуск ВЕСТНИКА ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК. ОТДЕЛЕНИЕ МЕТАЛЛУРГИИ включает труды ведущих российских ученых и авторских коллективов высших учебных заведений и промышленных предприятий. Представленные материалы посвящены решению актуальных проблем металлургии, материаловедения, экономики, управления и экологии на предприятиях, высшего профессионального образования.

В статьях сконцентрированы результаты научных разработок фундаментального и прикладного характера, направленные на повышение качества и конкурентоспособности, производимой российскими металлургическими предприятиями металлопродукции, снижения ее себестоимости, энерго- и ресурсоемкости, отрицательного воздействия на окружающую среду.

Традиционно, сборник научных трудов включает статьи посвященные проблемам подготовки инженерных кадров для промышленных предприятий.

Редакционная коллегия выражает авторам глубокую признательность, благодарность за представленные материалы и приглашает принять участие в следующем номере сборника научных трудов.

**МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ  
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**



УДК 658.56.6:669.18.013.52

Л.М. Полторацкий, И.А. Барнаев

ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»,  
г. Новокузнецк

## ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ РОССИИ И МИРОВОЙ РЫНОК СТАЛИ

Рассмотрены вопросы развития мировой черной металлургии, а также современного состояния металлургического комплекса Российской Федерации. Представлен анализ основных направлений совершенствования деятельности предприятий черной металлургии России, а также сдерживающих и стимулирующих факторов в их деятельности.

In clause questions of development of world ferrous metallurgy, and also a modern condition of a metallurgical complex of the Russian Federation are considered. The analysis of the basic directions of perfection of activity of the enterprises of ferrous metallurgy of Russia, and also constraining and stimulating factors in their activity is made.

По данным Международного института чугуна и стали (ISI) производство стальной продукции к 2008 году составит 1360 млн. т, а спрос на нее 1240 млн. т. К 2008 году произойдет увеличение мощностей по производству стали до 1520 млн. т в год, при этом избыточные мощности составят 160 млн. т. Рост избыточных мощностей объясним различием темпов прироста возможного производства и потребления. По оценкам большинства экспертов, весьма умеренный ежегодный прирост мирового потребления черных металлов будет перекрыт избыточными производственными мощностями технически развитых стран Запада и интенсивным ростом мощностей стран Азии, в первую очередь Китая.

В промышленно развитых странах наблюдаются стабилизация как производства, так и потребления стали. К концу двадцатого века в таких странах, как США, Германия, Япония потребление готового проката удерживалось на уровне около 420 – 590 кг/чел [1]. Относительно небольшой прирост производства стали в Европейском Союзе обеспечивается за счет вступления в него новых стран из Восточной и Центральной Европы.

Для ряда стран, таких как Россия, Китай, Бразилия, Индия характерно отставание в металлопотреблении, что свидетельствует о возможности увеличения уровня удельного потребления стали. Черная металлургия развивается здесь гораздо активней, чем в других регионах.

В этом отношении выделяется Китай, который за короткий срок создал современную металлургическую индустрию и вышел на первое место в мире по производству стали. Руководство страны планирует увеличить удельное потребление стали с нынешних 250 кг до 500 кг в 2015 и до 600 кг в 2025 году [2].

В то же время подъем в металлургической отрасли уже давно вызывает беспокойство у правительства Китая, поскольку страна с конца 90-х гг. не обеспечивает себя сырьем и энергетическими ресурсами для выплавки стали. Уже сегодня страна во многом работает на импортном сырье. А для обеспечения запланированного роста удельного потребления стали, Китаю понадобятся объемы ЖРС, способные привести к глобальным изменениям на международном сырьевом рынке.

Правительство КНР намерено ограничивать экспорт низкорентабельной продукции, продукции энергоемких производств путем отмены экспортных льгот на эти виды продукции. Государство намерено поощрять стремление китайских производителей стали к выходу на зарубежные рынки сырья, рудной продукции и установление связей для поставок ЖРС, стального лома, угля и прочих сырьевых материалов. Строительство новых стальных заводов решено пока приостановить. Все эти меры могут несколько снизить напряженность на мировом рынке. Однако результаты этих мер и время ощутимого их проявления пока весьма неопределенны [3].

Китайские металлурги все активней и агрессивней выходят на мировой рынок с готовой металлопродукцией, позиционируя себя в качестве мирового экспортера. При этом по мере увеличения китайского экспорта российские компании будут потеснены и на других азиатских рынках сбыта, куда сегодня уходят значительные объемы российского экспорта. В перспективе возможно и внедрение китайской металлопродукции на российские рынки, особенно на рынке дальневосточного региона, где предполагается реализация крупных металлоемких проектов, связанных с выработкой эл.энергии и транспортировкой углеводородного топлива.

Еще в 1991 г. Россия занимала в мире второе после Японии место по удельному потреблению стали (около 400 кг/чел.) [5]. В на-

стоящее время в России производится свыше 70 млн. т стали, Это соответствует удельному производству около 500 кг/чел. Однако более половины производимого российского металла идет на экспорт. Фактическое удельное потребление проката в России находится на уровне порядка 200–210 кг/чел. Низкий уровень и медленные темпы роста металлопотребления в России обусловлены прежде всего недостаточной конкурентоспособностью отечественного машиностроения, нехваткой инвестиционных ресурсов и низкой покупательной способностью населения. И это при том, что в России сложилась угрожающая ситуация со старением основных производственных фондов, наличием стране разветвленной сети железных дорог и газопроводов, сформированной более 30 лет назад.

По некоторым прогнозам предполагается удельное потребление стали в России к 2010 году в объеме 300 кг/чел. К 2025 году прогнозируется потребление в 350 кг на душу населения [2]. Стабильное развитие металлургической отрасли предусматривает модернизацию производства, изменение структуры выпуска продукции требуемой по номенклатуре, качеству и объемам поставок конкурентоспособной продукции с учетом перспектив развития металлопотребляющих отраслей. Насколько эта тенденция будет долгосрочной, явится одним из ключевых факторов глобальной конкурентоспособности российских компаний.

В условиях роста спроса и цен на мировых сырьевых рынках, вертикальная интеграция крупнейших российских металлургических компаний имеющих собственные сырьевые базы позволяет им чувствовать себя более уверенно. Собственная ресурсная база (железная руда, стальной лом, коксующийся уголь, электроэнергия, природный газ, значительная часть ферросплавов и огнеупоров) позитивно влияет и на поддержание рентабельности бизнеса. В то же время рост цен и тарифов в России на продукцию естественных монополий могут снизить рентабельность передельной заготовки и некоторых видов сортового проката, что составляет значительную часть российского экспорта черных металлов. Соответственно, предприятия, производящие такую металлопродукцию могут оказаться в тяжелой финансовой ситуации. Следует также ожидать, что себестоимость металлопродукции будет расти в связи с ростом затрат на сырье из-за выработки части уже освоенных месторождений, необходимости освоения новых месторождений и сопутствующего увеличения цен. Все это уже в кратко срочной перспективе снизит те преимущества, которы-

ми Россия обладает в настоящее время, располагая достаточными ресурсами для производства черных металлов.

В качестве вариантов развития возможны либо снижение издержек производства, либо переход на производство продукции с более высокой добавленной стоимостью. Хотя и здесь для некоторых компаний могут возникнуть проблемы, поскольку этот сегмент металлургического бизнеса давно поделен между тремя комбинатами – НЛМК, Северсталь, ММК – у каждого из которых за долгие годы сложился свой круг потребителей. И привлечь покупателей на свою сторону будет для нового производителя делом достаточно сложным и долгим.

В последнее время в мировой черной металлургии все отчетливей проявляются тенденции глобальной консолидации. Очевидно, что в будущем это приведет к тому, что на мировом рынке стали останутся только крупнейшие транснациональные компании и специализированные «нишевые» производители. Будут ускорены процессы перераспределения производства в регионы, имеющие конкурентные преимущества, постепенного сокращения мощностей в регионах неэффективного и избыточного производства, более оптимизированными будут сырьевые и сбытовые потоки. В этой ситуации российским металлургам придется идти либо по пути консолидации (внутренней, международной), либо становится «нишевыми» игроками.

Сейчас можно наблюдать, как российские комбинаты решают проблемы реализации своей продукции путем приобретения зарубежных металлургических активов. Примером этой стратегии является Евразхолдинг. Зарубежные предприятия холдинга должны перерабатывать заготовку, поступающую с его российских комбинатов, производить качественный прокат и реализовывать его на своих же рынках.

Другим, более сложным путем, является комбинация из включения в состав металлургического холдинга крупных металлопотребляющих предприятий, гарантирующих потребление продукции, производимой металлургами, и приобретений металлургических активов за рубежом. Несомненным лидером по реализации такой стратегии в России является «Северсталь».

Современная ситуация в мировой индустрии характеризуется широким использованием наукоемких технологий. Интенсифицировался производственный процесс, увеличились удельные параметры технологического оборудования, улучшилось качество производимой продукции, снизились энерго- и материалоемкость, по-

высилась производительность труда. Для повышения конкурентоспособности российской черной металлургии необходимо изменить продуктово-технологическую структуру отрасли. Увеличить долю конвертерного и электропечного производства стали, повысить долю непрерывной разливки стали, внедрить процессы литья тонких слябов.

Главными производителями чугуна и стали до недавнего времени являлись заводы полного цикла, функционирующие на основе аглодоменной технологии. Если учесть, что черная металлургия потребляет около 10 % всех энергоресурсов, то энергоемкость продукции в настоящем и в ближайшем будущем следует рассматривать как основной показатель, определяющий положение стали на рынке материалов.

Рост цен на электроэнергию и сырье, экологические проблемы привели к тому, что начинает меняться структура сталеплавильного производства, на первый план в производстве стали все отчетливее выходит электрометаллургия. Мини-заводы, созданные на основе электросталеплавильного процесса с использованием лома, практически по всем технико-экономическим показателям существенно превосходят заводы полного цикла. Высокая энергоемкость стальной продукции интегрированных заводов обусловлена их значительно развитой инфраструктурой и несовершенством утилизации вторичной энергии. Энергоемкость производства стального проката на мини-заводах почти в 2,5 раза ниже по сравнению с энергоемкостью на интегрированных предприятиях, а производительность труда в три-пять раз выше, чем на традиционном заводе полного цикла. Экологические характеристики электротехнологии получения стали также гораздо предпочтительней.

Достаточно перспективной в этом плане видится стратегия компании «Эстар» («Электросталь России»). Компания скупая небольшие, металлургические предприятия формирует холдинг полного цикла, делает упор именно на электросталеплавильный способ производства стали. Рыночным сегментом для «Эстара» является продукция для нужд ЖКХ и строительства.

Не исключено, что нынешний рост цен на металлопродукцию и сырье откроет возможности развития технологий нового поколения. В перспективе получат развитие технологии с применением природного газа, в частности различные технологии прямого восстановления железа. В настоящее время в мире различными методами бескоксовой металлургии производят около 50 млн. т стали, что составляет около 10 % мирового объема производства чугуна – «Мидрекс», «Хил»,

«Ромелт», «Корекс». В подобных технологиях заинтересованы железорудные предприятия, поскольку они получают возможность производить новую продукцию с высокой добавленной стоимостью. Потребителями металлизированных окатышей – продукции прямого восстановления могли бы стать конвертерные производства предприятий, производящих высококачественные марки стали, а также электросталеплавильные производства. До сих пор развитие данного направления в России сдерживали цена, и отсутствие развитого рынка.

Сталь по-прежнему доминирует в балансе потребления конструкционных материалов в большинстве развитых стран мира, однако все более широкое применение заменителей, стало одной из важных причин снижения темпов роста потребления изделий из стали в постиндустриальных странах в последние годы. Есть некоторые признаки снижения ее потребления в виде продуктов с низкой добавленной стоимостью. Вместе с тем, опережающими темпами растет производство и потребление высококачественного стального проката, в том числе коррозионностойкой стали. Быстро развиваются производство и потребление специальных высококачественных видов металлов, сплавов с особыми свойствами, композиционных материалов на основе металлов и их сплавов. Объемы производства таких материалов, как правило, небольшие, однако их высокая добавленная стоимость делает их производство экономически выгодным.

Создавшаяся ситуация вынуждает производителей стали обращать еще большее внимание на качество выпускаемой продукции. Можно выделить следующие основные направления повышения качества металлопродукции: создание новых видов конструкционной стали и повышение дифференциации профилеразмеров готовой металлопродукции, оптимизация составов и технологии производства, разработка и освоение систем автоматического управления технологиями термомеханического упрочнения проката на листовых и сортовых станах горячей прокатки, совершенствование процессов нанесения покрытий на холоднокатаный металл для автомобилестроения и строительства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лякишев Н.П. Комплексный подход к проблеме развития металлургии стали / Н.П. Лякишев, А.В. Николаев // Электрометаллургия. Лякишев Н.П., Николаев А.В. – 2003. – № 5. – С. 3-11.

2. Дейнеко А. Сталь по прежнему остается самым распространенным конструкционным материалом / А. Дейнеко // Металлы Евразии. – 2006. – № 4. – С. 12-17.

3. Полторацкий Л.М. Наступит ли дракон на лапы медведю? / Л.М. Полторацкий // Металлы Евразии – 2006. – № 1. – С. 62-63.

4. Зверев А. Эпоха эгоизма. Перспективы мирового рынка стали в 2006 г. / А. Зверев // Металлоснабжение и сбыт. – 2005. – № 11. – С. 50-53.

5. Литовских К. Перспективы есть / К. Литовских // Уральский рынок металлов. – 2006. – № 11. – С. 32.

УДК 553.494(571.1)

А.А. Пермяков, И.И. Сычев, Т.И. Сычева, А.А. Назарова  
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный  
университет», г. Новокузнецк

## СЫРЬЕВАЯ БАЗА ТИТАНА СИБИРИ

Мировые производственные мощности по выпуску титановых концентратов оцениваются в 4899,3 тыс. т  $TiO_2$ . Спрос на диоксид титана будет возрастать примерно на 2 % в год. В настоящее время Россия практически все сырье для производства титановой губки закупает на Украине. Коренные титаномagnetитовые месторождения и ильменитовые россыпи Сибири являются наиболее перспективными для производства титана в России.

World capacities on production of titanic concentrates are estimated in 4899.3 thousand tonnes. The demand on  $TiO_2$  will increase approximately on 2 % a year. Russia buys raw materials for the manufacture of a titanic sponge in Ukraine. The titanomagnetite deposits and ilmenite-fields of Siberia are the most perspective ones for the production of titanium in Russia.

Титан – легкий, прочный коррозионно-устойчивый металл, широко распространенный в природе. Промышленное значение имеют такие его соединения как ильменит  $FeTiO_3$  и рутил  $TiO_2$ .

В настоящее время титан широко используется в различных отраслях промышленности: для производства высококачественных титановых белил и эмалей – 55 %, пластмасс, резиновых изделий – 20 %, в качестве наполнителей бумаги – 25 %, в судо- и самолетостроении, аэро- и ракетнокосмической технике, машиностроении, при оснащении морских нефтепромыслов, в бытовой и медицинской технике и т. д. Наши исследования алюмотермических шлаков титано-марганцевых лигатур показали высокую твердость и тугоплавкость шлакообразующих минералов, что делает перспективным их использование в качестве абразивного и огнеупорного материала.

Мировые производственные мощности по выпуску титановых концентратов оцениваются в пересчете на диоксид в 4899,3 тыс. т, в том числе 4256,3 тыс. т – ильменитового и 643,0 тыс. т – рутилового концентратов. Фактически мировое производство несколько меньше и



составляет 3846,2 тыс. т, в том числе 3410,7 тыс. т – ильменитового и 435,5 тыс. т – рутилового концентратов [1].

Конечная титановая продукция – пигменты, металл (губка), ферротитан – производятся главным образом в высокоразвитых странах. В частности, производственные мощности по выпуску титановых пигментов из общего количества 3700 тыс. т/год сосредоточены в основном (73 %) в США (1330 тыс. т), Германии (350 тыс. т), Японии (320 тыс. т), Великобритании (310 тыс. т), Франции (230 тыс. т), Австралии (150 тыс. т). В остальных, примерно 20 странах, производится около 1000 тыс. т/год пигмента – от 30 до 100 тыс. т в каждой [2].

В производстве губчатого титана лидируют Казахстан и Украина, производственные мощности которых составляют 35 и 20 тыс. т/год губки соответственно (на 1993 г.), что из общей суммы мировых производственных мощностей (111,3 тыс. т) составляет почти 50 %. Остальное приходится на Японию (28 тыс. т/год), США (19,5), Великобританию (3), Китай (3), другие страны (5,8). Фактически же выпуск титановой губки в 1993 г. составил всего 61,2 тыс. т.

Прогноз потребления конечной титановой продукции показывает, что на период до 2010 г. спрос на пигментный диоксид титана будет возрастать не менее чем на 2 % в год и составит 4,5-5,5 млн. т/год. Потребление губчатого титана вряд ли превысит 100 тыс. т/год [2].

Требования промышленности к качеству титановых концентратов определяются областями их использования. Так, для получения пигментов используются концентраты, содержащие 45-55 %  $TiO_2$  и минимальные количества хромоформных примесей (Cr, Mn, P и др.). Для производства металлического титана и его сплавов используются высокотитанистые (56-65 %  $TiO_2$ ) ильменитовые концентраты с минимальным содержанием шлакообразующих оксидов ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , MgO и др.), а также рутиловые концентраты. Ильменитовые концентраты россыпных месторождений Западно-Сибирского региона отвечают данным требованиям и соответствуют ТУ 48-4-267-73 [1].

Ведущей российской корпорацией «ВСМПО-АВИСМА», в которую входят титаново-магниевый комбинат «АВИСМА» и Верхнесалдинское металлургическое объединение на Урале, производится около 32 % мирового объема губчатого титана и более 20 % полуфабрикатов из титановых сплавов (АИФ № 21 от 24-30 мая 2006 г.). Их заказчики – авиаконцерны «Boeing» и «Airbus» и многочисленные российские и иностранные компании из 30 стран мира.

Вице-президент РАЕН Е.А. Козловский отметил: «...Россия является одной из крупнейших стран мира по производству губчатого

титана и титанового проката: мощности российских предприятий по выпуску титановой губки позволяют не только обеспечить внутренние потребности страны, но и экспортировать значительное количество этой продукции, выступая основным конкурентом США и Японии» [3]. Вместе с тем, по его мнению, в настоящее время рынок титанового сырья в России характеризуется той особенностью, что «...в связи с отсутствием собственной рудно-сырьевой базы практически все сырье для производства титановой губки (ильменитовый концентрат) закупается на Украине...».

Создавшееся положение на отечественном рынке титанового сырья можно изменить коренным образом за счет развития минерально-сырьевой базы Сибири. Начиная с 1931 года, в Кузнецком Алатау открыты Патынское, Куль-Тайгинское, Мало-Таскыльское, в Горном Алтае – Салгонакское и Харловское, в Восточном Саяне – Лысановское, в Забайкалье – Чинейское и другие коренные месторождения. Разведан ряд месторождений титана в корах выветривания на севере Кузнецкого Алатау в Барзасском районе (Кемеровская обл.) и меловые россыпи по юго-восточному обрамлению Западно-Сибирской низменности [4], а так же циркон-ильменитовые комплексные россыпные месторождения: Туганское и Георгиевское в Томской области, Ордынское – в Новосибирской, Тарское – в Омской.

В структуре балансовых запасов подавляющую роль играют коренные титаномагнетитовые месторождения (98,24 %), характеризующиеся комплексным железо-титан-ванадиевым составом (таблица). Запасы титаномагнетитовых руд были оценены ГКЗ на 01.01.2005 г. в количестве 3 млрд. т руды категории  $P_1$ , в которых содержится 175 млн. т  $TiO_2$  и 1,35 млн. т ванадия.

По условиям образования месторождения Сибири подразделяются на четыре основных типа: магматические, остаточные в корах выветривания, россыпные и метаморфические. Особого внимания заслуживают Чинейское, Харловское титаномагнетитовые месторождения и Николаевская россыпь, которые относятся соответственно к первому и третьему генетическим типам. Харловское месторождение на Алтае открыто в 1951 г. Приурочено к интрузивному массиву площадью порядка 20 км<sup>2</sup> габбрового состава с концентрически-зональной псевдослоистостью, обусловленной чередованием слоев рудных и безрудных габбро, габбро-норитов, норитов, анартозитов. Рудные габбро слагают около 50 % площади массива.

Таблица – Региональная структура балансовых запасов России [2]

Месторождения	Типы руд	Запасы, млн. тонн / Содержание TiO <sub>2</sub> , %	Стадия промышленного освоения
<b>Читинская область</b>			
Чинейское	Титаномагнетит-ильменитовые руды в габброидах	30000 / 11	Неактивные запасы
Кручининское		18300 / 8,4	
<b>Мурманская область</b>			
Ловозерское	Лопаритсодержащие нефелиновые сиениты	2400 / 1,3	Ti извлекается в виде тетрахлорида
Хибинские апатитовые	Титаномагнетит-сфен содержащие апатит-нефелиновые руды	7900 / 1,0	Не извлекаются в промышленном масштабе
<b>Республика Коми</b>			
Ярегское	Лейкоксенсодержащие кварцевые нефтеносные песчаники	49500 / 10,5	Проектируется добыча и переработка лейкоксенового концентрата
<b>Челябинская область</b>			
Медведевское	Титаномагнетит-ильменитовые руды в габброидах	15300 / 7,0	Планируется к освоению
<b>Красноярский край</b>			
Лысанская группа месторождений	Титаномагнетитовые руды в габброидах	3300 / 11,4	Неактивные запасы
<b>Иркутская область</b>			
Тулунское	Ильменитсодержащие песчаники	1500 / 3,3	Неактивные запасы
<b>Новосибирская область</b>			
Ордынское	Циркон-ильменитовые россыпи	209,9 / -	Неактивные запасы
<b>Томская область</b>			
Туганское	Циркон-ильменитовая погребенная россыпь	1800 / 20 кг/м <sup>3</sup>	Планируется к освоению
Георгиевское		68,2 / -	Неактивные запасы
<b>Омская область</b>			
Тарское	Циркон-ильменитовые россыпи	0,44 / -	Неактивные запасы
<b>Кемеровская область</b>			
Николаевское	Ильменитовые россыпи	35 / -	Планируется к освоению

В южной части массив прорывается сравнительно небольшим штоком гранитов. В пределах массива выделено более десяти концентрических пластообразных рудных залежей протяженностью от 425 до 2650 м по простиранию, до 1000 м по падению, мощностью от 16 до 140 м.

К рудам отнесены габбро с содержанием валового железа не менее 14 % при бортовом содержании 12 %. При подсчете запасов минимальная промышленная мощность рудных тел принята 8 м, а максимальная мощность безрудных прослоев – 4 м. Контакты между рудными телами и вмещающими породами хорошо выделяются макроскопически. Мощность зоны окисления обычно 2-3 м, реже до 15 м.

Руды представлены оливиновыми габбро, состоящими из титаномагнетита (23-31 %), свободного ильменита (5-10 %), оливина (1.6-31,5 %), пироксена (18-25,1 %), плагиоклаза (14-48,1 %) и кальцита (0,9 %). В небольших количествах присутствуют минералы-спутники: серпентин, гранат, биотит, хлорит, апатит, амфибол, эпидот. Для руд характерна сидеронитовая, реже - порфириовидная структура и вкраплено-полосчатая текстура.

Руды характеризуются выдержанностью состава, содержат повышенное количество ванадия. Среднее содержание в рудах:  $Fe_{\text{вал}}$  – 15,3 %,  $TiO_2$  – 5,9 %,  $V_2O_5$  – 0,08 %. Вредные примеси: Zn, Pb, P, S, As присутствуют в незначительных количествах. Запасы руд на 01.01.2005 г. оценены ГКЗ в количестве 3 млрд. т категории  $P_1$ , в которых содержится 175 млн. т  $TiO_2$  и 1,35 млн.т ванадия.

При обогащении по магнитно-гравитационной схеме из руд месторождения получены ильменитовый концентрат с содержанием  $TiO_2$  – 83 % (выход от 28,6 % до 48,1 %), отвечающий требованиям ГОСТа для лакокрасочной промышленности, и ванадиево-железный (магнетитовый) концентрат с содержанием железа 51 % и ванадия – 0,36 %. Извлекаются также оливиновый, пироксеновый и плагиоклазовый концентраты.

Химический состав титаномагнетитового концентрата характеризуется содержанием (в %):  $Fe_{\text{вал}}$  – 60,7,  $SiO_2$  – 0,53,  $Al_2O_3$  – 2,94,  $TiO_2$  – 8,42, Fe – 29,48,  $Fe_2O_3$  – 53,81,  $P_2O_5$  – 0,016, MnO – 0,27, CaO – 0,56, MgO – 2,28,  $Na_2O$  – 0,13,  $K_2O$  – 0,06, S – следы,  $V_2O_5$  – 0,72.

В 1955 г. открыта Николаевская россыпь ильменита в недрах континентальных россыпей Чулымо-Енисейской впадины. Она расположена на водоразделе Серты и Тяжина. Геологопоисковые работы проведены на площади порядка 400 км<sup>2</sup>. Средняя мощность вскрыши 10 м (от 0 до 18,0 м). Среднее содержание ильменита в песках 44

кг/м<sup>3</sup>. Сложена песчано-галечными отложениями и реже глинами. Содержание иловых фракций составляет 25 %. Ресурсы ильменита Николаевской россыпи оцениваются порядка 35 млн. т по категории Р<sub>2</sub>.

Переработка ильменитового концентрата может осуществляться на Березниковском титаномагнетитовом комбинате АО «АВИСМА» (Россия), Усть-Каменогорском титаномагнетитовом комбинате (Казахстан), Верхне-Салдинском металлургическом объединении (Россия). Производство ферротитана из ильменитовых концентратов осуществляется на Ключевском (Россия) и Актюбинском (Казахстан) заводах.

В Северном Забайкалье на севере Читинской области при комплексных изысканиях трассы БАМа было открыто Чинейское месторождение ванадийсодержащих титаномагнетитов. Детальные геологоразведочные поиски показали, что месторождение является одним из самых крупных в мире по прогнозным ресурсам железной руды (30 млрд. т) и крупнейшим по прогнозным запасам титана (3 млрд. т) и ванадия (56 млн. т). Чинейский интрузивный комплекс вывел нашу страну на первое место в мире по разведанным запасам ванадия.

Очевидно, что уже в самые ближайшие годы Чинейское месторождение ванадийсодержащих титаномагнетитов может оказаться надежной сырьевой базой для относительно близко расположенных металлургических предприятий востока России: Западно-Сибирского металлургического комбината (ЗСМК), Новокузнецкого металлургического комбината (НкМК), Петровск-Забайкальского металлургического завода (ПЗМЗ), поскольку в последние годы из-за интенсивной эксплуатации отработки части месторождений железорудные ресурсы Сибирской металлургии оказались в значительной степени истощенными. Слабая обеспеченность железорудной базы ЗСМК, НкМК, ПЗМЗ негативно сказывается на эффективности их работы.

Проектная мощность Чинейского ГОКа составляет 10 млн. т в год по исходной титаномагнетитовой руде. Планируется сначала освоить производство концентрата СМС, а затем и концентрата ММС, а также и ильменитового концентрата. Ванадийсодержащие железорудные концентраты планируется направлять на переработку прежде всего на ЗСМК, НкМК и ПЗМЗ.

Изложенное свидетельствует о том, что сырьевые ресурсы титанового сырья в России (Урал, Западная, Восточная Сибирь) имеются в достаточных объемах для развития отрасли в размерах, сопоставимых с развитыми странами мирового сообщества.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Циркон-ильменитовые россыпные месторождения – как потенциальный источник развития Западно-Сибирского региона / Л.П. Рихванов [и др.] – Кемерово: ООО «Сарс», 2001. – 214 с.

2. Быховский Л.З. Стратегия развития и освоения минерально-сырьевой базы титана / Л.З. Быховский // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – М.: Геоинформмарк, 1995. – № 3. – С. 6-12.

3. Козловский Е.А. Россия в тисках минерально-сырьевого экспорта / Е.А. Козловский // Промышленные ведомости. – 2003. – № 13-16. – С. 4-5.

4. Никонов И.И. Титан / И.И. Никонов // Полезные ископаемые / Геология СССР. – Т. XIV. – 165-167 с.

УДК 669.046.564:621.785

М.В. Темлянецв, О.И. Нохрина, А.Ю. Сюсюкин

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ОКИСЛЕНИЯ И ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ ПРИ НАГРЕВЕ В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ С ШАГАЮЩИМИ БАЛКАМИ

В статье представлены результаты промышленных экспериментов по определению угара и обезуглероживания непрерывнолитых заготовок рельсовой стали марки Э76Ф при нагреве в методической печи с шагающими балками под прокатку.

In the article the outcomes of industrial experiments by determination of an intoxication and decarbonization continuously cast slugs of rail steel of the mark E76F at heating in the methodical furnace with walking beams under rolling.

На ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат» нагрев непрерывнолитых заготовок рельсовой электростали под прокатку осуществляют в методической печи с шагающими балками с торцевой загрузкой и торцевой выдачей металла, построенной по проекту итальянской фирмы Techint. После освоения температурных режимов нагрева [1, 2] проведена серия промышленных экспериментов по исследованию влияния продолжительности нагрева на угар и обезуглероживание рельсовой стали марки Э76Ф. О влиянии продолжительности нагрева на процессы обезуглероживания стали в методической печи при постоянной калибровке валков на прокатных станах и режимах обжата судили по величине видимого обезуглероженного слоя в головке рельсов. Угар определяли по методу планиметрирования (взвешивания и измерения площади пластин окалины) [3].

В рамках проведенных экспериментов исследовали базовый режим нагрева, предложенный фирмой Techint и усовершенствованный, разработанный на стадии освоения печи [1, 2]. Основные параметры режимов представлены в таблице. Как видно из таблицы для усовершенствованного режима характерен меньший уровень температур в зонах и пониженный окислительный потенциал атмосферы в томильной и второй сварочной зонах, который обеспечивается за счет сжи-

гания природного газа с коэффициентом расхода окислителя менее 1, при этом дожигание продуктов сгорания реализуют в первой сварочной зоне и отапливаемом участке методической. Изменение времени нагрева, соответственно и производительности печи достигали варьированием темпа шагания балок (увеличением времени цикла шагания). Результаты экспериментальных замеров угара представлены на рисунке 1.

Таблица – Параметры работы печи во время исследования величины окалинообразования

Наименование зоны	№ зоны	Проектный режим фирмы Techint		Усовершенствованный режим	
		температура зоны, °С	коэффициент расхода окислителя	температура зоны, °С	коэффициент расхода окислителя
Зона подогрева (не отапливаемая)	–	1000	1	820	1,1
Методическая (верх)	1	1250	1	1070	1,1
Методическая (низ)	2	1250	1	1070	1,1
Сварочная № 1(верх)	3	1280	1	1220	1
Сварочная №1 (низ)	4	1280	1	1220	1
Сварочная № 2 (верх)	5	1310	1	1280	0,95
Сварочная № 2 (низ)	6	1310	1	1280	0,95
Томильная (верх-право)	7	1280	1	1270	0,9
Томильная (верх-лево)	8	1280	1	1270	0,9
Томильная (низ-право)	9	1280	1	1270	0,9
Томильная (низ-лево)	10	1280	1	1270	0,9
Конец томильной зоны	–	1250	–	1250	–

По результатам химического анализа установлено, что в окалине содержится в среднем 74 % Fe. Статистическая обработка данных показывает, что полученные зависимости подчиняются степенному закону. Полученные степенные зависимости согласуются с теорией влияния времени нагрева на процессы окалинообразования [3]. В рамках которой, увеличение времени приводит к замедлению процессов окисления, при этом роль барьера выполняет слой образовавшейся окалины.

Отклонение полученных уравнений от закона квадратного корня, вызвано тем, что температура поверхности в процессе нагрева не постоянна, кроме этого возможно нарушение сплошности образованной окалины в процессе перемещения заготовок.

Из рисунка 1 видно, что для усовершенствованного режима с понижением температуры и окислительного потенциала печной атмосферы, потери металла с окалиной составляют в среднем при нагреве в интервале 3,5–5,0 часов 0,77–1,55 %.



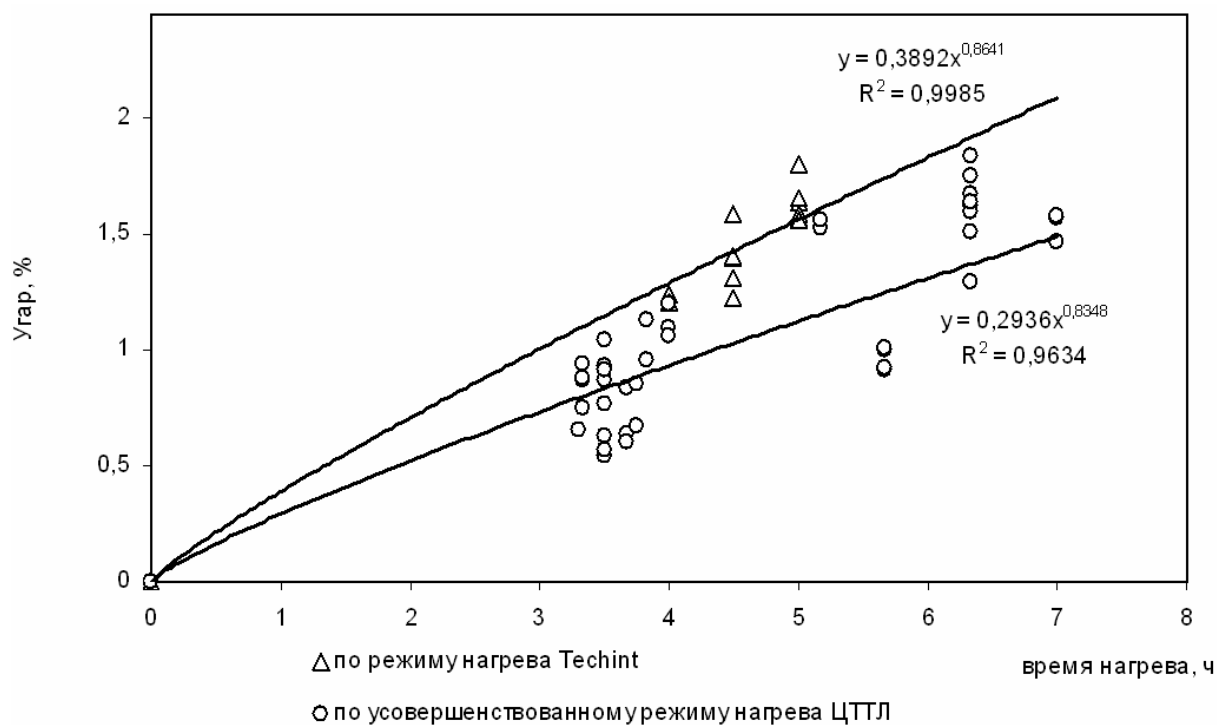


Рисунок 1 – Зависимость угара стали от времени нагрева для различных режимов

Однако следует отметить, что при времени нагрева более 5 часов повышенное окалинообразование связано с наличием непланируемых простоев, и, соответственно, увеличением времени нахождения металла в высокотемпературных зонах печи. Кроме того, при проведении экспериментов было зафиксировано, что угар на торцах заготовок в среднем на 19 % выше, чем на боковых гранях.

Степень обезуглероживания поверхности в области головки рельса оценивали, замеряя максимальную глубину повышенного и общего частичного обезуглероживания. На рельсах, как правило, присутствует только частичное обезуглероживание поверхности: у самой поверхности в отдельных участках микроструктура состоит из перлита и зерен феррита (повышенное обезуглероживание); между участками с повышенным обезуглероживанием и в более глубоких слоях структура состоит из перлита и сплошной ферритной сетки. Результаты исследований представлены на рисунке 2.

Статистическая обработка данных показывает, что полученные зависимости подчиняются степенному закону. Степенные зависимости согласуются с теорией влияния времени нагрева на процессы обезуглероживания, в рамках которой увеличение времени приводит к замедлению диффузионных процессов обезуглероживания, при этом роль барьера выполняет обезуглерожженный слой. Отклонение полученных уравнений от закона квадратного корня вызвано тем, что температура поверхности в процессе нагрева не постоянна. Определенное влияние на формирова-

ние обезуглероженного слоя вызвано процессами неизотермического окалинообразования.

Таким образом, разработанный малоокислительный режим нагрева обеспечивает не только снижение угара непрерывнолитых заготовок рельсовой стали, но и обеспечивает производство рельсов с глубиной видимого обезуглероженного слоя на уровне менее 0,5 мм, что соответствует требованиям Евростандарта. Для обеспечения указанного требования время нагрева НЛЗ не должно превышать 4,5 часов.

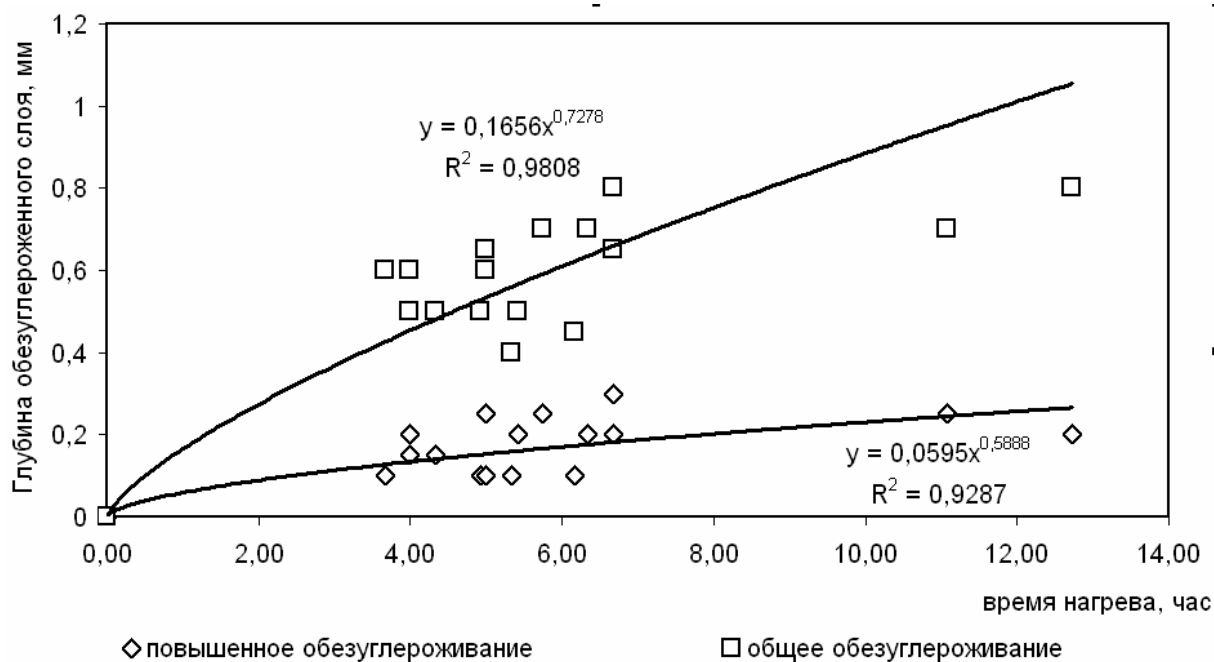


Рисунок 2 – Зависимость глубины обезуглероженного слоя в головке рельса от времени нагрева НЛЗ в ПШБ

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Темлянцев М.В. Разработка технологии нагрева рельсовых заготовок в методической печи с шагающими балками / М.В. Темлянцев, Е.А. Колотов, А.Ю. Сюсюкин, В.В. Гаврилов // Сталь. – 2006. – №12. – С. 33–35.
2. Темлянцев М.В. Определение угара и обезуглероживания непрерывно литых заготовок рельсовой стали при нагреве в методических печах с шагающими балками / М.В. Темлянцев, Е.А. Колотов, А.Ю. Сюсюкин // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2006. – №12. – С. 62–63.
3. Темлянцев М.В. Окисление и обезуглероживание стали в процессах нагрева под обработку давлением / М.В. Темлянцев, Ю.Е. Михайленко // Монография. – М.: Теплотехник, 2006. – 200 с.

УДК 621.771.016

А.Ю. Сюсюкин, О.И. Нохрина, М.В. Темлянцев

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ ПРИ НАГРЕВЕ В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВИЗИОННОГО МЕТОДА

В статье представлены результаты промышленных экспериментов по определению теплового состояния непрерывнолитых заготовок рельсовой стали марки Э76Ф при нагреве в методической печи с шагающими балками под прокатку.

In the article the outcomes of industrial experiments by determination of a thermal condition continuously cast slugs of rail steel of the mark E76F at heating in the methodical furnace with walking beams under rolling.

В настоящее время тепловизионный метод определения теплового состояния различных объектов получает в металлургии широкое распространение. Его используют для определения температуры поверхности тепловых агрегатов и обрабатываемого металла [1, 2]. Основными достоинствами тепловизионного метода являются:

- бесконтактный способ определения температуры,
- возможность измерений не только в локальной точке или участке, но и охват всей поверхности заготовки или слитка, позволяющий определить общую картину неравномерности температурного поля по периметру и поверхности металла,
- возможность измерения с быстротекущих процессов продолжительностью до 0,01–0,1 с,
- относительно низкая погрешность измерений до 1–3 %.

На ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат» проведена серия промышленных экспериментов с применением нового бесконтактного способа определения теплового состояния непрерывнолитых заготовок поперечным сечением 300×330 мм с помощью тепловизора «Flir». Измерения температуры поверхности металла осуществляли на выдаче из двухрядной методической печи с шагающими балками. Для снижения погрешности измерений блюмс с каждого ряда снимали с

двух сторон. Снимки блюмсов представлены на рисунке 1, а результаты замеров температуры по боковой грани представлены на рисунке 2.

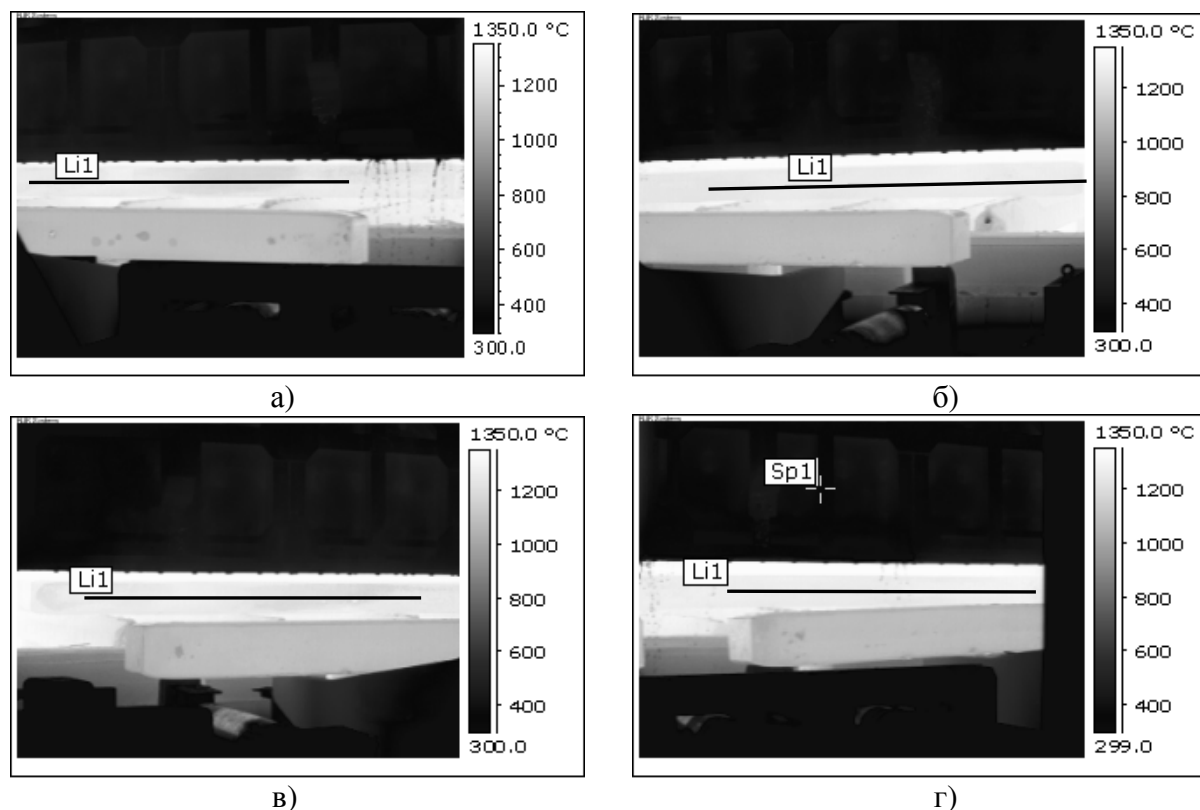
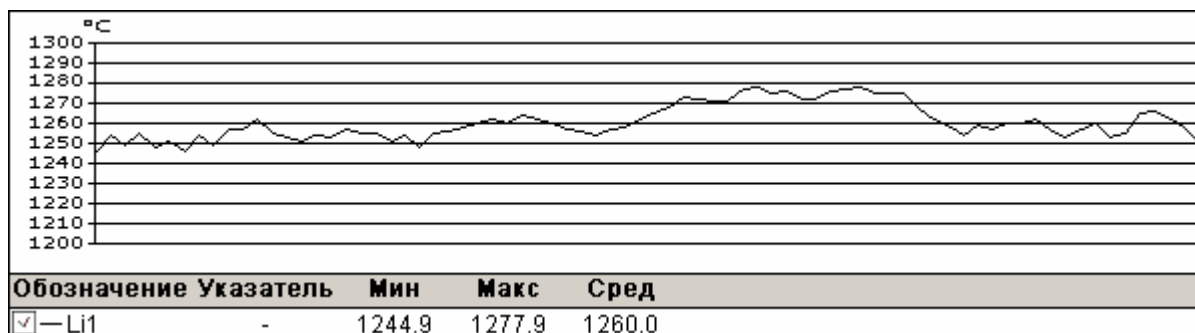


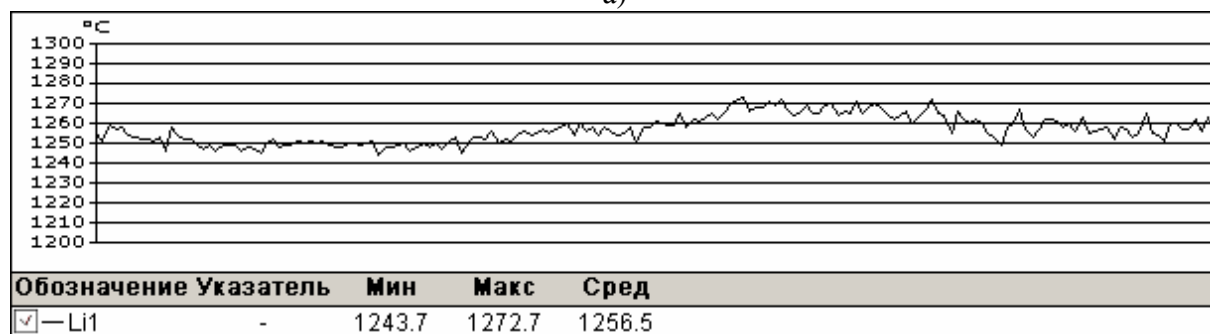
Рисунок 1 – Результаты тепловизионной съемки непрерывнолитых заготовок перед выдачей из печи с правого (а), (в), левого (б), (г) рядов

Анализируя полученные результаты можно сделать выводы об относительно равномерном нагреве по длине заготовки, перепад между минимальной и средней температурой по поверхности составляет 20–22 °С. Тот факт, что температура переднего конца блюмса, выданного с правого ряда и температура заднего конца блюмса, выданного с левого ряда, заметно выше средней по длине раската температуры свидетельствует о том, что температура рабочего пространства около стен выше, чем в среднем по печи. Данное предположение подтверждает оплавленная окалина, отобранная с торцов заготовок.

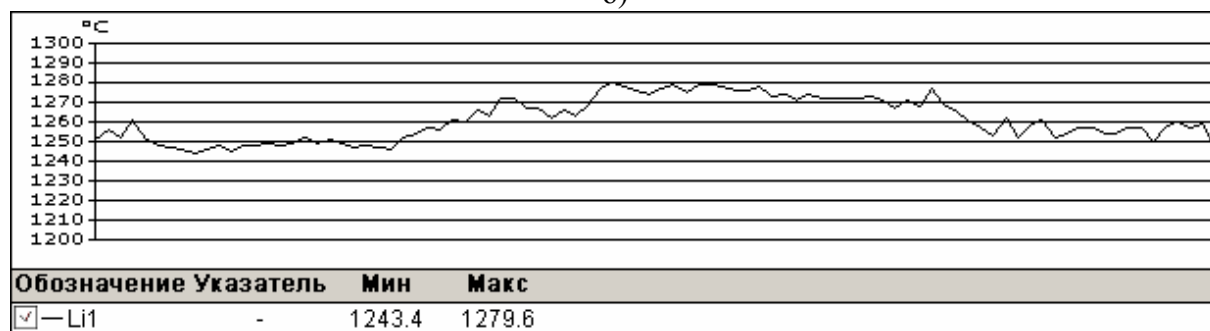
Измеренные температуры практически представляют собой температуры поверхности окалины, образующейся на поверхности стали. Фактическая температура поверхности металла на 10–20 °С. Оценка допустимых температур нагрева рельсовой стали марки Э76Ф показывает, что температура вязко-хрупкого перехода составляет 1320–1340 °С [3, 4], а конечная температура нагрева металла в целях предотвращения перегрева и пережога стали не должна превышать 1260 – 1280 °С.



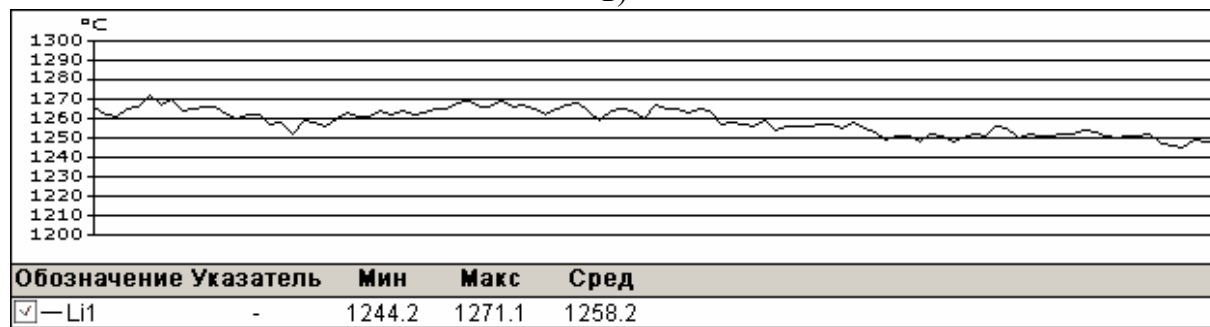
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2 – Температура поверхности боковой грани по длине блюмса  
а), в) – выдача с правого ряда; б), г) – выдача с левого ряда

Таким образом, в результате промышленных экспериментов установлено, что с учетом перепада температуры по толщине окалины конечная температура непрерывнолитых заготовок на выдаче из печи не превышает допустимых пределов. Перепад между минимальной и средней температурой по поверхности составляет 20–22 °С.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев П.Л. Применение тепловизионного метода для исследования температуры металла / П.Л. Алексеев // Сталь. – 2006. – № 5. – С. 78–80.
2. Завидей В.И. Тепловизоры нового поколения для теплового контроля состояния футеровки металлургических агрегатов / В.И. Завидей, В.А. Сизов // Металлург. – 2006. – № 2. – С. 56–58.
3. Забильский В.В. Вязко-хрупкий переход в сталях при околосolidусных температурах/ В.В. Забильский, Р.М. Никонова // МиТОМ. – 2006. – № 4. – С.9–20.
4. Павлов В.В. Дефекты и качество рельсовой стали / В.В. Павлов, М.В. Темлянцев, Л.В. Корнева и др. – М.: Теплотехник, 2006. – 218 с.

УДК 669.046.564:621.785

Н.В. Темлянцев

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

## ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА ОКАЛИНА-МЕТАЛЛ ПРИ НАГРЕВЕ СТАЛИ ПОД ПРОКАТКУ

В статье представлены результаты исследований строения поверхностных слоев низко- и среднелегированных марок сталей после высокотемпературного нагрева под прокатку.

In the article the outcomes of researches of a structure of surface stratum various marks of steel after high-temperature heat under rolling are represented.

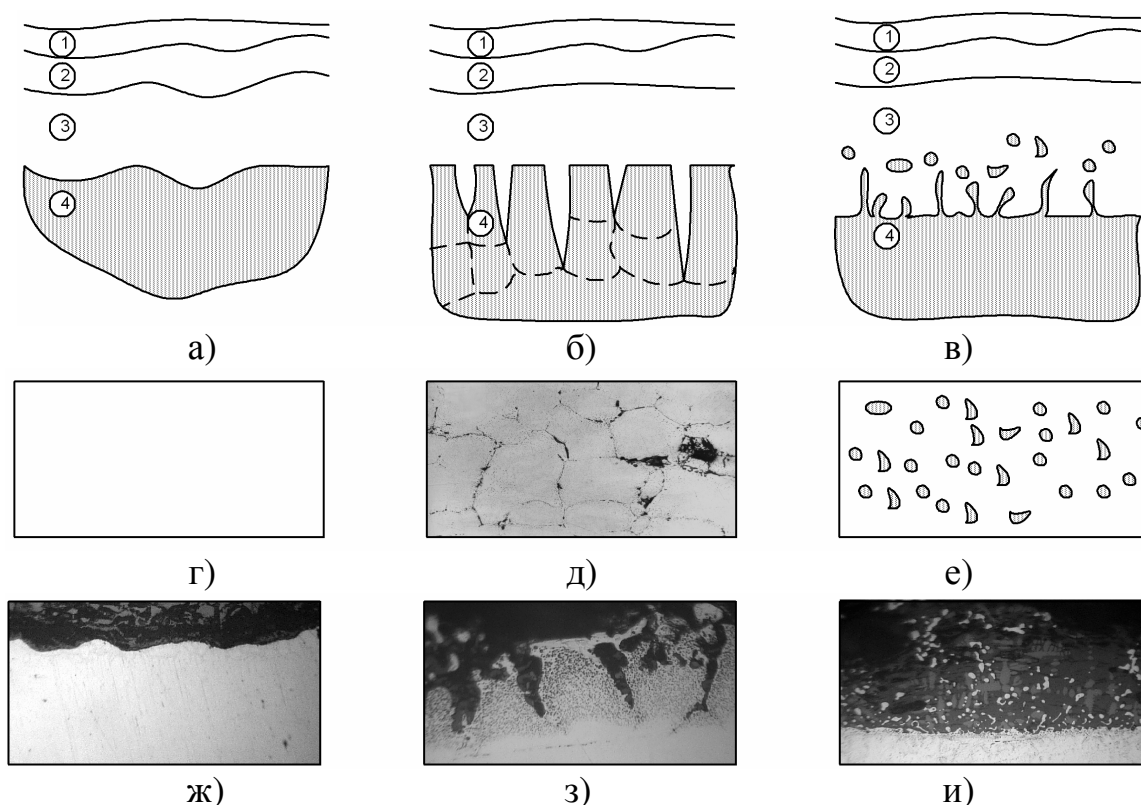
Доминирующее влияние на удаляемость окалина с поверхности стали при деформации, многие ученые [1–3] связывают с состоянием и особенностями строения поверхности раздела окалина-сталь. Для исследования возможных разновидностей ее строения проведена серия экспериментов с использованием сталей марок 30ХГСА, 15ХСНД, 40Х, 3ПС, 60С2 по методике изложенной в работе [4]. Образцы стали нагревали до температур  $t=1050, 1150$  и  $1250$  °С и выдерживали 60 мин при постоянной температуре в электрической печи СУОЛ-0,25.1/12,5И1 с нагревателями из карбида кремния. Исследование микроструктуры поверхностных слоев образцов проводили на микроскопе МИМ-10.

В ходе проведенных экспериментов удалось выявить характерные особенности и закономерности формирования различных видов поверхности раздела окалина-сталь. В общем случае можно выделить три характерных типа строения поверхности раздела (рисунок): слоевой (послойный), зернограничный, сталагмитообразный (от греческого *stálagma* – капля).

В случае слоевого типа строения между металлом и окалиной имеется резкая граница раздела (рисунок *а, г, ж*). При таком строении при деформации металла в процессе прокатки окалина отделяется достаточно легко. Слоевой тип поверхности раздела наблюдается после сравнительно низкотемпературного (до  $1000–1050$  °С) нагрева сталей, не содержащих легирующих элементов, способных образовывать легкоплавкие соединения, например углеродистых, хромистых и др.

В случае образования поверхности раздела зернограничного типа (рисунки *б, д, з*) окалина проникает по границам зерен металла (на ри-

сунке *б* показаны пунктирной линией). Зернограничному окислению способствуют легкоплавкие соединения, как содержащиеся в самой стали, например сульфиды, так и образующиеся вследствие взаимодействия с кислородом атмосферы или оксидами железа, легирующих элементов, например оксиды меди, ванадия. Возникновению зернограничного типа поверхности раздела способствуют более высокие по сравнению со слоевым типом температуры нагрева до 1150–1250 °С. Он характерен для сталей типа 10ХСНД, 15ХСНД, 30ХГСА и аналогичных по химическому составу. Сцепление окалины с поверхностью стали при зернограничном типе поверхности раздела выше, чем при слоевом.



слои: 1– $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (гематит), 2–  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (магнетит), 3– $\text{FeO}$  (вюстит), 4–сталь  
 Рисунок – Различные типы строения поверхности раздела окалина–сталь  
 а), б), в) – схематичное изображение; г), д), е) – вид сверху;  
 ж), з), и) – характерный вид поверхности раздела окалина сталь на  
 нетравленном микрошлифе

Наибольшее сцепление окалины с металлом наблюдалось в случае, когда образуется поверхность раздела сталагмитообразного типа (рисунки *в*, *е*, *и*). Поверхность стали и слой вюstitа представляют собой оксидно-металлическую композицию, содержащую хаотично расположенные частицы обезуглероженной стали (практически железа) округлой, сферообразной (каплевидной) формы, многие из них вытя-



нуты и связаны с основной поверхностью стали и заполняющую пространство между частицами вюститную матрицу. Для такого типа строения явная граница раздела окалина–сталь фактически отсутствует. Данный вид поверхности раздела наблюдался при температурах нагрева до 1200 – 1250 °С и более и является следствием развития зернограничного типа, вызванного температурным воздействием более высокого уровня. Для возникновения сталагмитообразного типа поверхности раздела необходимо обязательное наличие жидкой фазы, т.е. оплавления легкоплавких соединений. Сталагмитообразный тип характерен для высокотемпературного нагрева сталей в окалине которых образуется пентооксид ванадия обладающий низкой вязкостью, фаялит, а также при обогащении слоя окалина, прилегающего к поверхности металла марганцем и кремнием, которые, взаимодействуя с кислородом и вюститом в системе FeO–MnO–SiO<sub>2</sub> при содержании SiO<sub>2</sub> менее 40 % образуют легкоплавкие соединения [5]. Он встречается при нагреве кремнистых сталей 40С2, 55С2, 60С2, 30ХГСА и аналогичных.

Рассмотренные типы поверхностей в общем случае могут наблюдаться при нагреве одной марки стали, но в различных температурных интервалах. При этом определенное влияние оказывает неравномерность температурного поля по периметру нагреваемого слитка, сляба или блюма, например в области середины грани может быть зернограничный тип поверхности раздела, а в области перегретых углов или торцов – сталагмитообразный.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Северденко В.П. Окалина при горячей обработке металлов давлением / В.П. Северденко, Е.М. Макушок, А.Н. Равин. – М.: Металлургия. 1977. – 208 с.
2. Влияние структуры и свойств окалина на качество поверхности при горячей обработке металлов давлением / Ю.А. Кириллов [и др.]. // МиТОМ. – 2000. – № 7. – С. 36-38.
3. Комплексное исследование окалинообразования при нагреве металла под горячую обработку давлением / Ю.А. Кириллов [и др.]. // Производство проката. – 2000. – № 11. – С. 33-36.
4. Перетячко В.Н. Исследование влияния строения поверхностных слоев стали на удаление окалина после высокотемпературного нагрева слябов под прокатку / В.Н. Перетячко, Н.В. Темлянцев // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии: сб. науч. тр. / СибГИУ. – Новокузнецк, 2006. – Вып. 16. – С.63-70.
5. Темлянцев М.В. Окисление и обезуглероживание стали в процессах нагрева под обработку давлением / М.В. Темлянцев, Ю.Е. Михайленко. – М.: Теплотехник, 2006. – 200 с.

УДК 669.168

О.И. Нохрина, А.П. Коробейников, И.Е. Прошунин

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ СУЛЬФАТА И ХЛОРИДА НАТРИЯ С МИНЕРАЛАМИ МАРГАНЦЕВОГО КОНЦЕНТРАТА

В статье представлены результаты исследования процесса спекания сульфата и хлорида натрия с минералами марганцевого концентрата.

In the article the outcomes of research of process of a sintering  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  and  $\text{NaCl}$  with minerals of a manganese concentrate are submitted.

Исследованию подвергался марганцевый концентрат из руд Уватского месторождения, который содержал, %:  $\text{Mn}$  – 36,3,  $\text{SiO}_2$  – 13,7,  $\text{BaO}$  – 5,68,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 1,2,  $\text{Fe}_{\text{общ.}}$  – 1,44,  $\text{P}$  – 0,35. Основные рудные минералы – криptomелан, кварц, опал.

Для разработки гидрометаллургического способа дефосфорации указанного концентрата использовали сульфат и хлорид натрия [1, 2]. Термодинамические расчеты ряда реакций дефосфорации указывают, что выбранные реагенты не должны реагировать с основными минералами концентрата криptomеланом, кварцем, опалом.

Основными методами исследования процесса спекания сульфата и хлорида натрия были термический и термовесовой методы.

Термический анализ является одним из основных методов [3 – 4] изучения химических процессов, сопровождающихся выделением или поглощением тепла, и нашел широкое применение в технике исследований. Он позволяет установить температурную зависимость фазовых и полиморфных превращений и химических реакций. Термовесовой метод, в отличие от термографического, дающего преимущественно качественную оценку, характеризует процесс с количественной стороны.

Изучение простых веществ и их смесей проводилось нагреванием навески 0,5 г в атмосфере воздуха на дериватографе системы Ф. Паулик. Скорость нагревания образцов равнялась 10 град/мин. Расшифровка дифференциальных кривых осуществлялась путем нагрева-

ния исходного материала до определенной температуры с последующим рентгенофазовым анализом полученного продукта.

Из дериватограммы безводного  $\text{MnO}_2$  (рисунок 1) видно, что превращение диоксида марганца начинается при  $195^\circ\text{C}$  и заканчивается при  $930^\circ\text{C}$  с получением, согласно рентгенограмме,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ . Наиболее интенсивно этот процесс протекает при  $457 - 675^\circ\text{C}$ . Эндотермический эффект при  $930 - 1030^\circ\text{C}$  соответствует разложению  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  до  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ .

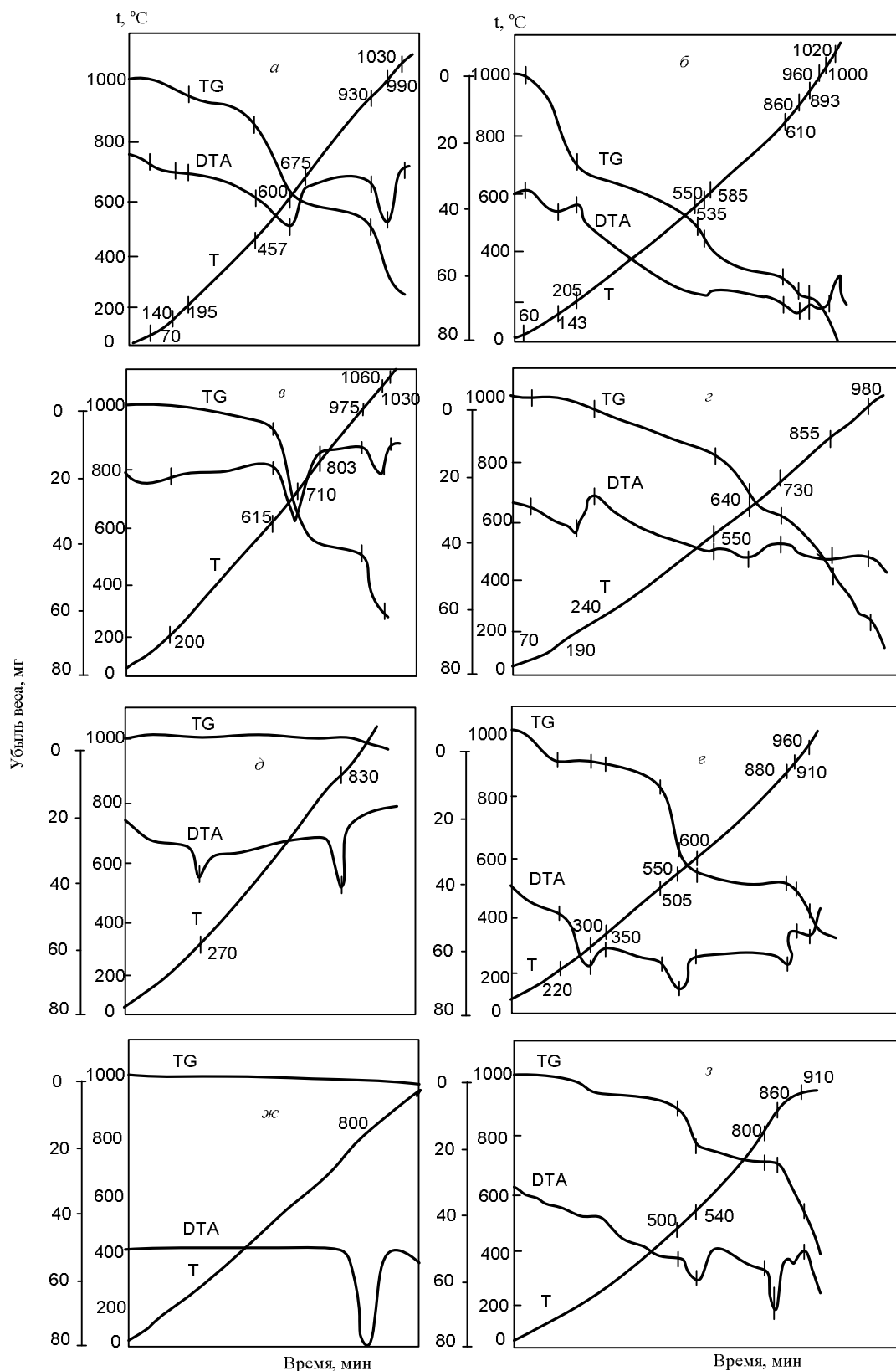
Термограмма нагревания  $\text{MnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  отличается от предыдущей (рисунок 1, б). Эндотермический эффект при  $60 - 205^\circ\text{C}$  в этом случае соответствует удалению воды. Следующие слабо выраженные эффекты при  $535 - 585^\circ\text{C}$  и  $810 - 895^\circ\text{C}$  объясняется диссоциацией  $\text{MnO}_2$  и сопровождается убылью веса на 9 и 14 мг, соответственно. Рентгенофазовым анализом обнаружено наличие  $\text{MnO}_2$  и  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  в продукте, полученном при  $550^\circ\text{C}$ . При  $860^\circ\text{C}$  полностью заканчивается превращение  $\text{MnO}_2$  и  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ . В образце, прокаленном при  $960^\circ\text{C}$ , присутствует  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  и  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ , при  $1000, 1040, 1100^\circ\text{C}$  только  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ .

Дериватограмма  $\text{MnO}_2$ , предварительно полученного прокалкой азотнокислого марганца при  $200^\circ\text{C}$ , представлена на рисунке 1, в, из которого видно, что разложение диоксида марганца начинается при  $200^\circ\text{C}$  и наиболее интенсивно протекает при  $615 - 803^\circ\text{C}$ . Эндотермический эффект при  $975 - 1060^\circ\text{C}$  соответствует диссоциации  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ , сопровождающейся образованием  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ .

Дериватограмма природного диоксида марганца (минерал криптомелан) отличается от дериватограммы синтетически полученного  $\text{MnO}_2$ . Исследуемый минерал теряет воду, начиная с  $70^\circ\text{C}$  (рисунок 1, г). При  $240^\circ\text{C}$  начинается непрерывное разложение без резко выраженных эффектов до  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ . В образце, прокаленном при  $850^\circ\text{C}$ , рентгеноструктурным анализом обнаружены  $\text{Mn}_3\text{O}_4$  и криптомелан.

На дифференциальной кривой нагревания  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (рисунок 1, д) имеется два эффекта соответствующих полиморфному превращению ( $270^\circ\text{C}$ ) и плавлению ( $880^\circ\text{C}$ ) соли.

Для последующих опытов порошки сульфата натрия и диоксида марганца смешивалось в весовом соотношении 1:1 и спекались при  $900, 1000^\circ\text{C}$ . Рентгенофазовым анализом подтверждено, что спеки, полученные при  $900^\circ\text{C}$ , состоят из  $\text{Mn}_2\text{O}_3, \text{Mn}_3\text{O}_4$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; при  $1000^\circ\text{C}$  – из  $\text{Mn}_3\text{O}_4$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Других соединений в системах не обнаружено. Далее спек подвергался десятикратному выщелачиванию горячей водой ( $93 - 95^\circ\text{C}$ ). Результаты показали, что в остатках содержалось  $0,70 - 0,95\%$   $\text{Na}_2\text{O}$  и  $0,60\%$  S. После аналогичной обработки природного диоксида марганца в нем содержалось  $1,17\%$   $\text{Na}_2\text{O}$  и  $0,75\%$  S.



*a* –  $\text{MnO}_2$ ; *б* –  $\text{MnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ , *в* –  $\text{MnO}_2$ , полученного разложением  $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ ; *г* – криptomелана; *д* –  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; *е* – (50 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  + 50 %  $\text{MnO}_2$ ); *жс* –  $\text{NaCl}$ ; *з* – (50 %  $\text{NaCl}$  + 50 %  $\text{MnO}_2$ )

Рисунок 1 – Дериватограммы

На термограмме смеси (рисунок 1, е) имеются тепловые эффекты, соответствующие термодиссоциации  $MnO_2$  и полиморфному превращению и плавлению  $Na_2SO_4$ , но не обнаружено эффектов, которые указывали бы на взаимодействие компонентов. Наличие в кеках соединений натрия и серы, вероятно, можно объяснить проникновением солей при спекании в микропоры оксидов марганца и образованием твердых растворов в системах  $MnO_x - Na_2SO_4, NaCl$ .

Аналогичным образом спекался диоксид марганца с хлоридом натрия. Результатами рентгенофазового анализа доказано, что спеки, полученные при 800 – 900 °С, состоят из  $Mn_2O_3, Mn_3O_4$  и  $NaCl$ ; при 1000 – 1100 °С из  $Mn_3O_4$  и  $NaCl$ . Новых соединений в системах не обнаружено. Далее спеки подвергались водному выщелачиванию. Химическим анализом в нерастворимых остатках обнаружено 0,89 %  $Na_2O$ . После аналогичной обработки криптомелана, в нем содержалось 1,85 %  $Na_2O$ .

Следовательно, хлорид натрия не реагирует с диоксидом марганца.

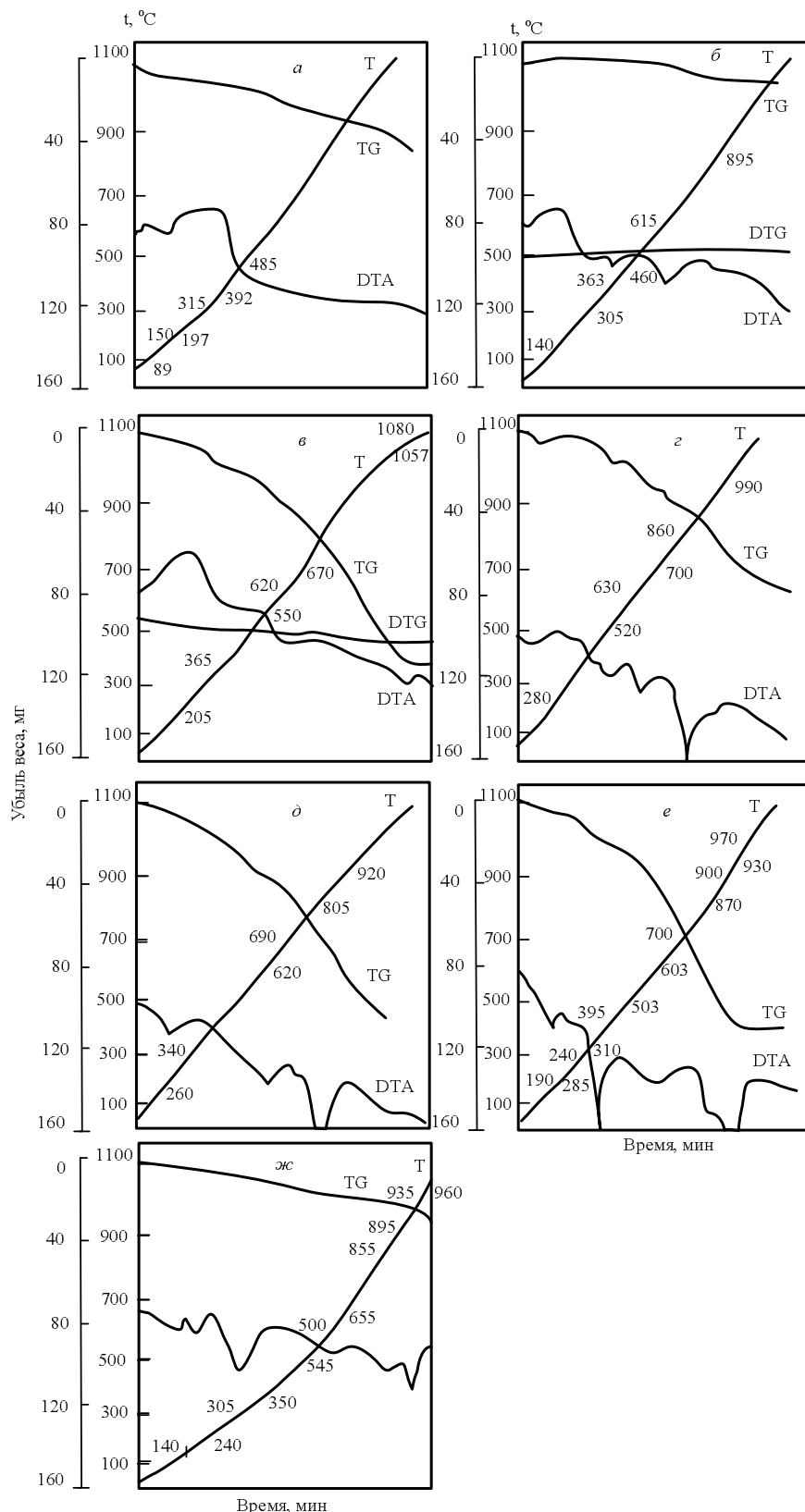
Одной из сложных задач химической кинетики является расчет энергии активации. Подобные исследования весьма трудоемки и требуют высокой точности эксперимента. В последние годы для таких целей начинают все шире применять косвенные методы. В частности, для расчетов энергии активации процессов обезвоживания кристаллогидратов и разложения карбонатных соединений могут быть использованы результаты термического анализа.

Расчет энергии активации проводили по методу, разработанному авторами [3 – 5].

Результаты расчета энергии активации для процессов дегидратации и диссоциации оксидов марганца по данным дериватограммы (рисунок 1) представлены в таблице.

Дифференциально-термический анализ концентрата (3,6 %  $SiO_2, 51,7$  %  $Mn$ ), аморфного и кристаллического кремнезема и их смеси с сульфатом и хлоридом натрия указывает, что при спекании до 1000 °С эти компоненты не реагируют. На дериватограммах не имеется эффектов соответствующих вероятности таких реакций (рисунок 2), что подтверждено рентгенофазовым анализом всех продуктов.

Таким образом, на основании результатов термодинамического, рентгенофазового и химического анализов можно утверждать, что оксиды марганца аморфный (опал) и кристаллический кремнезем (кварц) не реагируют с сульфатом и хлоридом натрия в области температур до 1000 °С.



*a* – аморфный SiO<sub>2</sub>; *б* – кристаллический SiO<sub>2</sub>, *в* – концентрат; *г* – [(концентрат + 11,6 SiO<sub>2</sub> аморфный) + 40 % NaCl]; *д* – [(концентрат + 11,6 SiO<sub>2</sub> кристаллический) + 40 % NaCl]; *е* – [(концентрат + 11,6 SiO<sub>2</sub> аморфный) + 40 % Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]; *ж* – [(концентрат + 11,6 % SiO<sub>2</sub> кристаллический) + 40 % Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>]

Рисунок 2 – Дериватограммы

Таблица – Расчетные значения энергии активации фазовых превращений оксидов марганца

Образец	Термический эффект	Ea, кДж/моль		
		DTA	TG	DTG
MnO <sub>2</sub> ·xH <sub>2</sub> O	60 – 205 °С (рисунок 1, б)	4,77	4,44	-
MnO <sub>2</sub>	457 – 675 °С (рисунок 1, а)	9,81	11,81	8,93
MnO <sub>2</sub>	930 – 1030 °С (рисунок 1, а)	78,55	73,70	59,43
MnO <sub>2</sub>	615 – 710 °С (рисунок 1, в)	40,08	33,51	33,58
MnO <sub>2</sub>	975 – 1060 °С (рисунок 1, в)	69,91	75,20	77,28

Диоксиды марганца (природные и синтетические) подвергаются диссоциации до Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Сульфат натрия подвергается полиморфному превращению при 270 °С и плавлению при 880 °С. Хлорид натрия плавится при температуре 800 °С. Оксиды марганца при спекании до 1000 °С не реагируют с аморфным и кристаллическим кремнеземом.

Исключение вероятности реакций оксидов марганца с сульфатом и хлоридом натрия, с опалом и кварцем, а также оксидов кремния с сульфидом и хлоридом натрия значительно упрощает технологию дефосфорации марганцевых концентратов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нохрина О.И. Гидрометаллургическая дефосфорация марганцевых концентратов / О.И. Нохрина, А.П. Коробейников – *Металлургия: новые технологии, управление, инновации и качество: Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции.* – Новокузнецк: СибГИУ, 2006. – С. 312-313.
2. Коробейников А.П. Гидрометаллургическое обесфосфоривание марганцевых концентратов с использованием поваренной соли / А.П. Коробейников, М.Л. Поляков, Я.И. Ивашенцев // *Горный журнал.* – 1971. – № 11. – С. 63-65.
3. Пилоян Г.О., Новикова О.С. // *ЖНХ.* – 1967. – № 3. – С. 602.
4. Степин Б.Ф. // *ЖФХ.* – 1969. – X, III, 106 2452.
5. Топор Н.Д. и др. // *ЖФХ.* – 1968. – X, II, 11.

УДК 621.771

В.Н. Кадыков, А.А. Уманский

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ЗАГОТОВОК КОНСТРУКЦИОННЫХ МАРОК СТАЛЕЙ

В условиях ОАО «ЗСМК» методами математической статистики проведено исследование влияния технологических факторов на качество поверхности заготовок конструкционных кипящих марок сталей по ГОСТ 10702-78. Установлено значимое влияние технологических факторов выплавки и разливки стали, нагрева слитков. На основании полученных результатов внесены изменения в действующую технологию производства заготовок по ГОСТ 10702-78, что позволило улучшить технико-экономические показатели работы обжимного цеха. В частности, реализация технологии использования слитков с «жидкой» сердцевинной для производства заготовок по ГОСТ 10702-78 позволила: уменьшить отсортировку заготовок по дефектам поверхности на 5 абс.%, снизить расход металла на прокат при производстве заготовок на 1 кг/тонн, уменьшить расход топлива на нагрев слитков на 6 кг у.т./тонн. Экономический эффект составил 550 тыс.руб./год.

The researching of influence of technological factors on the surface quality of billets in the West Siberian Metallurgical Combine was made. It was defined that technological factors of melting and pouring of steel and factors of heating of ingots influent greatly on the surface quality of billets. By results of researching the technology of production of billets was changed and it allows perfecting the technical and economical results. The using of ingots with uncrystallized core for production of billets allows: to reduce the quantity of billets with surface defects, to decrease the consumption of metal, to reduce the consumption of fuel for ingots heating. Economical effect was 550 thousand of rubles per year.

При производстве заготовок из слитков величина отходов находится в пределах 100-300 кг/т в зависимости от марочного сортамента. Для рядовых марок стали основной составляющей отходов является об-



резь концевых участков раската на ножницах после блюминга (95-96 % от общей величины потерь) [1]. При этом для ряда качественных марок сталей на первый план выходит отбраковка по дефектам поверхности, которая достигает 50 % [2].

В частности в условиях обжимного цеха Западно-Сибирского металлургического комбината при производстве заготовок конструкционных кипящих марок сталей (10кп, 15кп, 20кп) из слитков отсортировка по дефектам поверхности в среднем составляет 25 % от общего количества заготовок, технологическая обрезь – порядка 6,5 % от массы всада, потери в угар и окалину – 1,5 % от всада, потери при огневой зачистке – около 3,5 %. Таким образом, в структуре потерь при производстве данного вида продукции отсортировка по дефектам поверхности занимает 68 % (рисунок 1).

По мнению большинства исследователей [3-8] на отсортировку заготовок по дефектам поверхности оказывает влияние, как качество исходного полупродукта (слитков), так и технологические параметры прокатного передела. При этом в настоящее время отсутствует единое мнение о качественном и количественном влиянии конкретных технологических факторов на качество поверхности заготовок. Это в свою очередь говорит об актуальности проведения дальнейших исследований по данному вопросу.

В условиях обжимного цеха ОАО «ЗСМК» методами математической статистики проведено исследование влияния технологических факторов на качество поверхности заготовок конструкционных кипящих марок сталей по ГОСТ 10702-78. Объектом исследования явилась выборка из 60 плавок стали 20кп. Анализировали влияние непрерывных и дискретных факторов выплавки, разлива, нагрева и прокатки слитков.

Определено, что относительная степень влияния непрерывных параметров выплавки стали на качество поверхности заготовок составляет 30 %. Влияние параметров выплавки стали обусловлено содержанием меди и азота, снижающих пластичность и ухудшающих деформируемость металла при прокатке (рисунки 2, 3).

Установлено значимое влияние условий разлива стали, характеризующихся возможностью центрирования струи металла относительно изложницы, на качество поверхности заготовок. При разливе нецентрированной струей увеличивается риск плёнообразования на поверхности слитков, что снижает качество поверхности проката. В частности при разливе одновременно через два шибберных затвора отсортировка по дефектам поверхности выше на 15 отн.%, чем при разливе через один шибберный затвор.

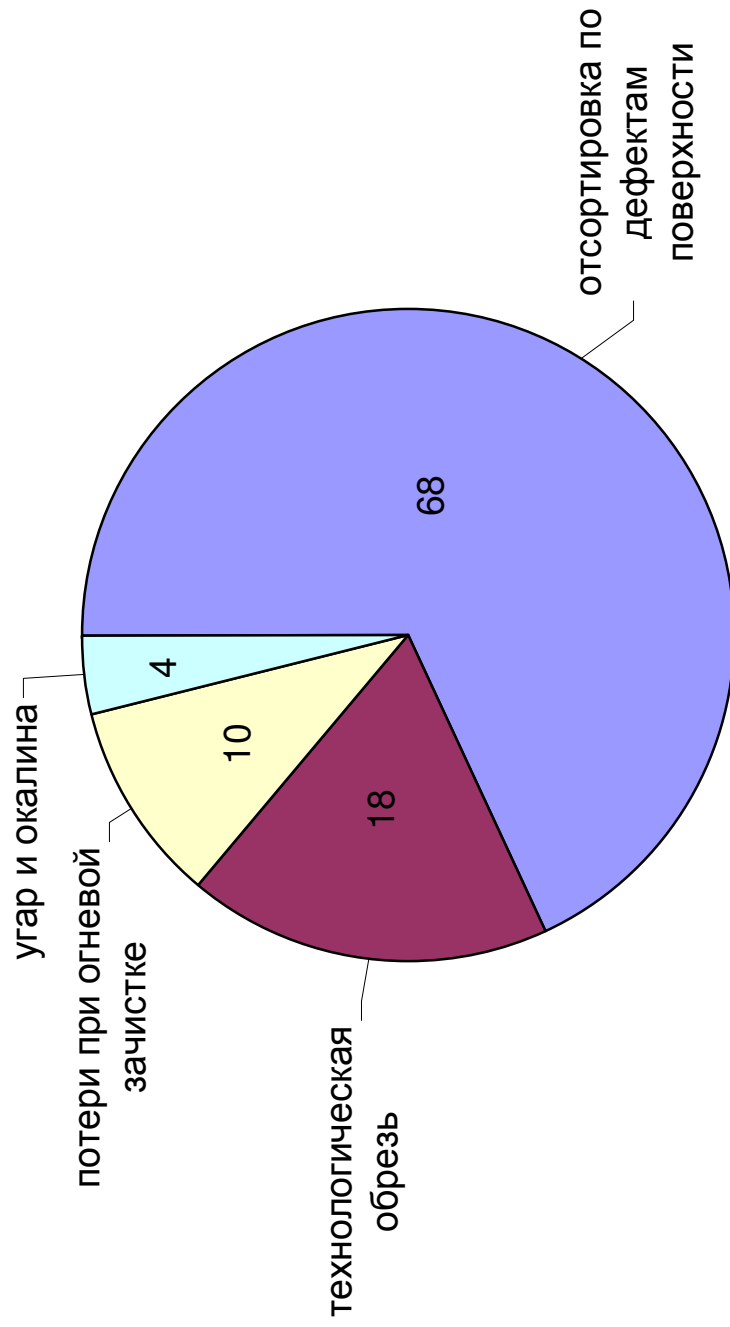


Рисунок 1 – Структура потерь при производстве заготовок конструкционных кипящих сталей в обжимном цехе ОАО «ЗСМК»

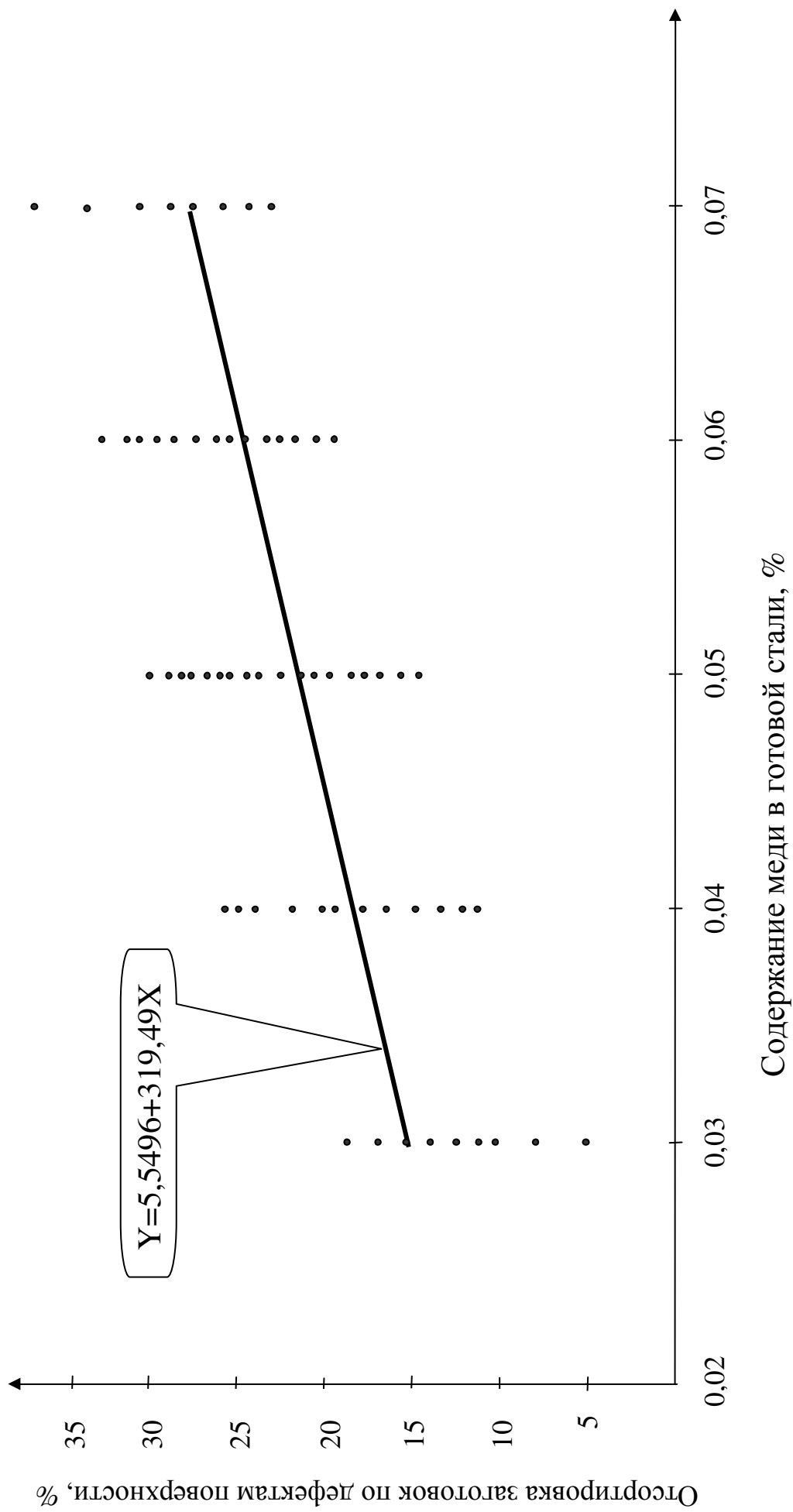


Рисунок 2 – Зависимость отсортировки заготовок по дефектам поверхности от содержания меди в готовой стали

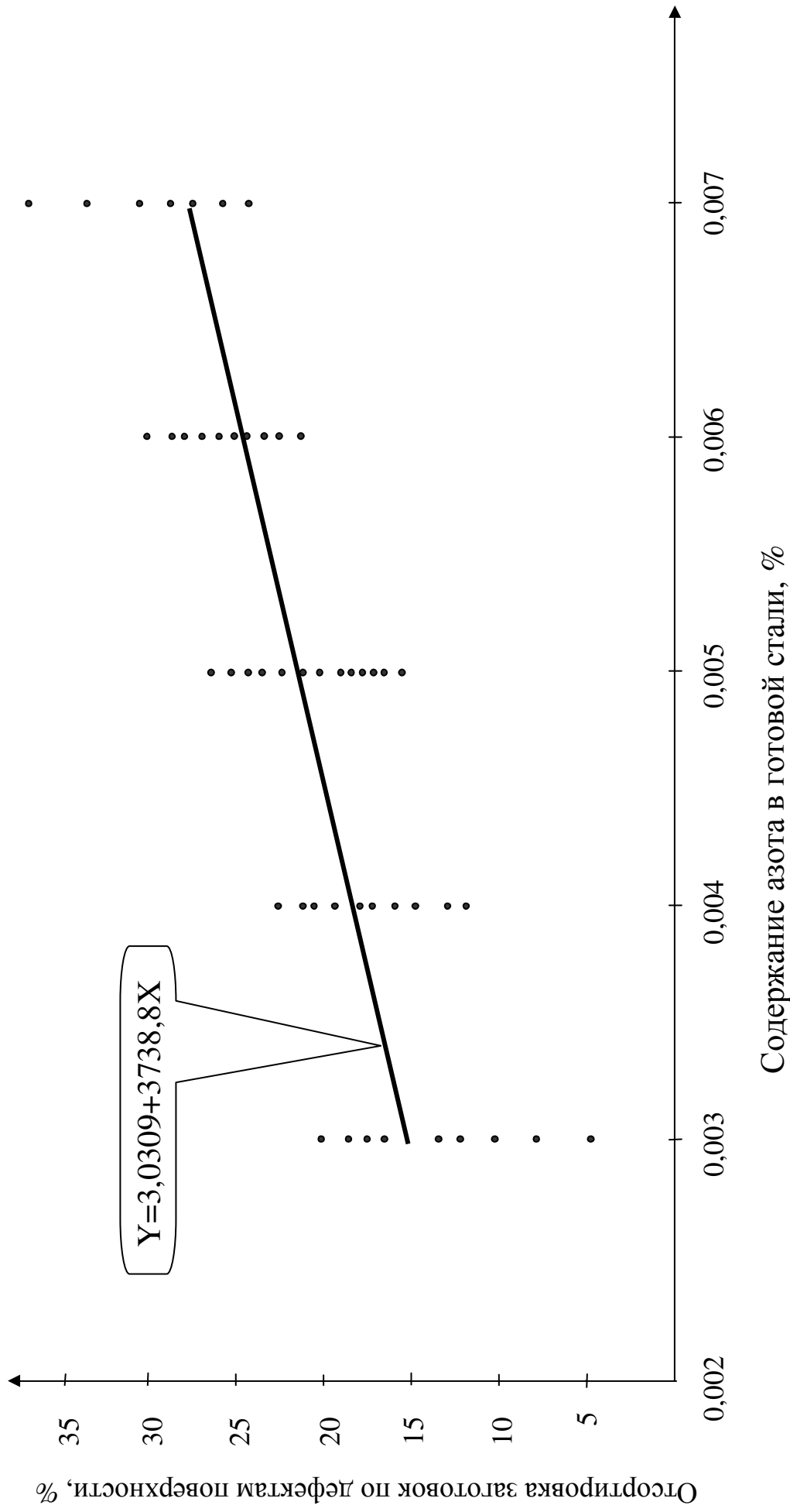


Рисунок 3 – Зависимость отсортировки заготовок по дефектам поверхности от содержания азота в готовой стали

При нагреве по технологии для слитков горячего посада установлено значимое влияние фактического времени нагрева и «пересиживания» слитков относительно графика (рисунки 4, 5). Увеличение продолжительности нахождения слитков в нагревательных колодцах повышает угар поверхностных слоёв металла, что в свою очередь увеличивает риск вскрытия близко расположенных к поверхности газовых пузырей, которые при прокатке трансформируются в рванины. При этом следует отметить тенденцию к улучшению качества поверхности заготовок при выдаче слитков раньше графика. Относительная степень влияния продолжительности нагрева и времени «пересиживания» слитков на качество поверхности заготовок составила 15 %.

На основании проведённых исследований внесены изменения в технологию производства заготовок кипящих конструкционных сталей по ГОСТ 10702-78. Выплавка и разливка слитков марок 10кп, 15кп, 20кп полностью переведена в ККЦ-1, где разливка осуществляется через один шиберный затвор (в ККЦ-2 разливка слитков осуществляется одновременно через два шиберных затвора), что позволило снизить отсортировку по дефектам поверхности (плёнам) на 5 абс.%. Разработана, прошла опытно-промышленное опробование и внедрена технология использования слитков конструкционных кипящих сталей с «жидкой» сердцевиной для производства заготовок по ГОСТ 10702-78. В связи с повышенными требованиями к макроструктуре конструкционных сталей перед промышленным внедрением разработанной технологии проведено исследование влияние технологии нагрева на макроструктуру слитков. Установлено, что технология нагрева слитков с «жидкой» сердцевиной не ухудшает макроструктуру заготовок относительно традиционной технологии нагрева и позволяет получать заготовки согласно требований ГОСТ 10702-78. Также установлено, что ликвация основных химических элементов углеродистой кипящей стали (углерод, сера, фосфор) при нагреве слитков по различным технологиям практически не отличается. Внедрение технологии использования слитков с «жидкой» сердцевиной в 2003 г. позволило: снизить отсортировку по дефектам поверхности (рванинам) на 4 абс.%, уменьшить расход металла на прокат при производстве заготовок на 1 кг/т, снизить расход топлива на нагрев слитков на 6 кг у.т./т. Экономический эффект составил 550 тыс. руб./год.

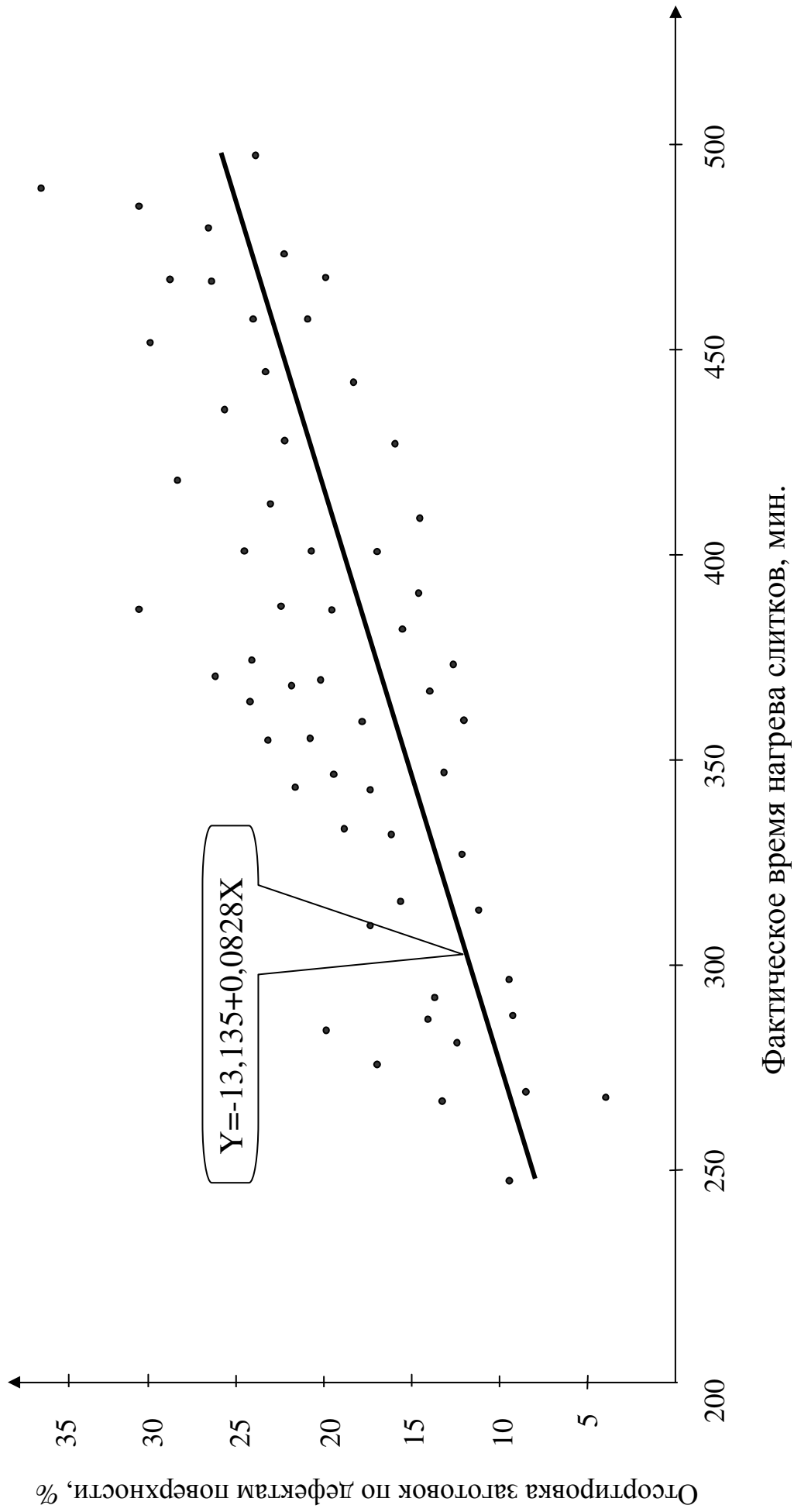
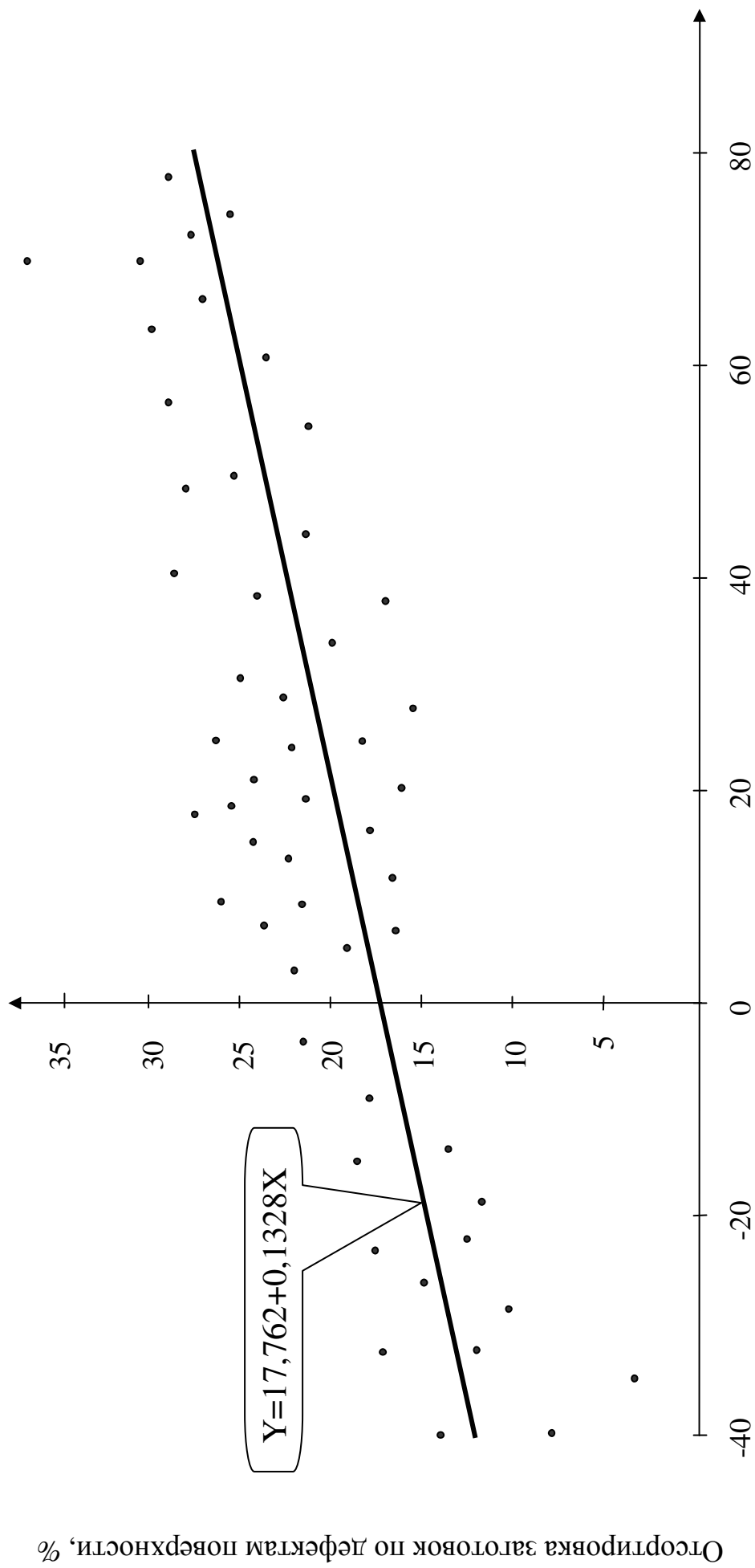


Рисунок 4 – Зависимость отсортировки заготовок по дефектам поверхности от фактического времени нагрева слитков, мин.



Время пересиживания слитков относительно графика, мин.

Рисунок 5 – Зависимость отсортировки заготовок по дефектам поверхности от времени пересиживания слитков, мин.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денищенко П.Н. Снижение расхода металла при производстве слябов на обжимных станах / П.Н. Денищенко, В.А. Луценко, М.Б. Луцкий // Бюл. Чер. Metallургия – 2001. – № 3. – С. 35-37.
2. Гинцбург Я.С. Прокатка качественной стали / Я.С. Гинцбург, К.К. Андрацкий. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по чёрной и цветной металлургии, 1953. – 464 с.
3. Паршин В.А. Деформируемость и качество / В.А. Паршин, Е.Г. Зудов, В.Л. Колмогоров. – М.: Metallургия, 1979. – 192 с.
4. Энерго- и металлосберегающие технологии при подготовке заготовок для переката на сортовых станах комбината «Криворожсталь» / А.В. Кекух, В.К. Спиняков, И.Е. Полуновский и др. // Производство проката – 2003. – № 12. – С. 36-39.
5. Гетманец В.В. Рациональные режимы работы блюминга / В.В. Гетманец, В.Я. Шевчук. – М.: Metallургия, 1990. – 136 с.
6. Тумко А.Н. Исследование влияния температуры слитков при посадке в нагревательные колодцы на качество поверхности проката / А.Н. Тумко, С.В. Ревякин, Н.М. Тарновская // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2001. – № 2. – С. 48-50.
7. Энергосберегающая технология нагрева слитков / Е.И. Казанцев, Е.М. Котляревский, А.В. Баженов, И.С. Заварова. – М.: Metallургия, 1992. – 176 с.
8. Влияние технологических факторов прокатного производства на дефектность заготовок сортамента обжимных цехов комбината «Криворожсталь» / В.Г. Писаренко, В.К. Спиняков, Е.В. Ильченко, и др. // Производство проката. – 2004. – № 10. – С. 27-30.



УДК 669.184.244.66

Р.Ф. Нугуманов\*, Е.В. Протопопов, Е.П. Волынкина,  
Н.А. Халаман, Л.А. Ганзер

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный  
университет», г. Новокузнецк

\*ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»,  
г. Новокузнецк

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА ЧУГУНА В КОНВЕРТЕРАХ

Рассмотрены основные направления снижения энергоемкости выплавки стали в конвертерах. Разработаны и внедрены в производство на ОАО «ЗСМК» усовершенствованные технологии конвертирования металла с применением в качестве теплоносителя углеродсодержащих материалов и твердых бытовых отходов.

The basic directions of power consumption decrease of melting steel in converters are considered. The advanced technologies of converting metal with application as the heat-carrier carbonaceous materials and firm household wastes are developed and introduced on ОАО «ZSMK».

Черная металлургия традиционно является одной из наиболее ресурсо- и энергоемких отраслей промышленности. Удельный вес черной металлургии в мировом энергопотреблении составляет около 8 %. Так, в Японии на долю черной металлургии приходится около 15 % потребления энергии, в Германии – 10 %, в Великобритании, Франции, Италии – 7-8 %, в США – 4,5 %, в России – 9-10 %. Доля материально-сырьевых и топливно-энергетических ресурсов в себестоимости стали по традиционному для России технологическому маршруту доменная печь-конвертер составляет на предприятиях 66,6-73,1 %, в то время как в США она равна 60,1 %, Германии – 60,9 %, Японии – 53,8 %, Франции – 61,7 %.

В условиях традиционного для отрасли механизма ценообразования значительное снижение материальных и энергетических ресурсов при выплавке стали в конвертерах обеспечивается при замене чугуна металлоломом. Известно [1], что удельная энергоемкость, то есть сум-

марные затраты первичной энергии, составляет для чугуна – 23,8 МДж/кг, а для металлолома – 0,2 МДж/кг.

В настоящее время широкое распространение получили энерго-сберегающие технологии, позволяющие оптимизировать тепловой баланс конвертерной плавки, сократить расход жидкого чугуна и, соответственно, увеличить долю перерабатываемого лома до 35-40 %.

К последним можно отнести различные способы продувки металла с дожиганием отходящих конверторных газов в рабочем пространстве агрегата, предварительный нагрев лома с помощью топливно-кислородных фурм или дополнительных фурм горелок, а также широкое применение теплоносителей, в первую очередь углеродсодержащих материалов в кусковом или порошкообразном виде. Однако при этом за исключением экономии чугуна наблюдается возможное снижение некоторых технико-экономических показателей процесса, прежде всего качества металла, стойкости футеровки и выхода жидкой стали.

На Западно-Сибирском металлургическом комбинате разработаны и внедрены в производство усовершенствованные технологии выплавки стали в конвертерах с применением в качестве дополнительных теплоносителей различных углеродсодержащих материалов и твердых бытовых отходов [2,3].

В таблице 1 приведены данные о химическом составе и теплоте сгорания углеродсодержащих материалов, рекомендуемых к использованию в сталеплавильном производстве (кокс, угли сортов ТОМ, ССО, Г), а также резиновых (отработанные автомобильные покрышки, транспортерные ленты и др.) и горючих компонентов твердых бытовых отходов (ТБО) (бумага, полиэтилен, полистирол и др.). Приведенные данные показывают, что твердые бытовые отходы по своему химическому составу и технологической ценности близки к теплоносителям, традиционно используемым в сталеплавильном производстве. При этом ТБО имеют даже некоторое преимущество перед углем и коксом вследствие более низкой влажности, а полимеры (полиэтилен, полистирол, полиэтилентерфталат), текстиль, древесина обладают более низкой зольностью (менее 1 %) по сравнению с углями (8-14 %), коксом (10,0 %) и резиной (2,5 %).

Технология выплавки стали в конвертерах с использованием отработанных автомобильных покрышек предусматривает ввод в конвертер на металлический лом на стадии его предварительного нагрева при подаче кислорода и сжигании углеродсодержащих материалов средне- и малогабаритных автошин в целом виде. При этом органическая часть покрышек сгорает с выделением значительного количества тепла, металлический корд расплавляется, заменяя часть металлолома.

Таблица 1 – Химический состав и теплота сгорания твердого топлива

Компоненты	Влажность, $W_t^r$ , %	Содержание, % сухой массы						Низшая теплота сгорания, кДж/кг
		Зольность, $A^d$	Углерод	Водород	Кислород	Азот	Сера	
Кокс	5,0	10,0	87,7	0,4	0,3	1,2	0,4	29580
Уголь ТОМ, р-з Междуреченский	5,0-9,0	10,0	83,4	2,5	2,3	1,7	0,3	29517
Уголь ССО, р-з Бачатский	6,5-10,0	8,0	81,1	4,0	4,5	2,0	0,3	28680
Уголь Г, р-з Ерунаковкий	9,0-10,0	14,0	69,3	5,2	8,7	2,4	0,4	27069
Резина (Отработанные автошины, транспортные ленты)	менее 1,0	2,5	85,0	8,2	2,4	0,4	1,5	37,025
Бумага	менее 1,0	4,0	42,6	5,9	47,4	0,5	0,2	19987
Полиэтилен	менее 1,0	менее 1,0	91,5	8,0	0	0,5	0,1	39680
Полистирол	менее 1,0	менее 1,0	96,5	3,0	0	0,2	0	35680
Полиэтилентерефталат (ПЭТФ)	менее 1,0	менее 1,0	55,0	4,0	41,0	0	0	22677
Текстиль	менее 1,0	1,0-3,0	55,1	6,8	31,2	4,8	0,1	22550
Древесина	1,0	1,0	51,0	6,1	41,6	0,2	0,1	19077

Результаты технического анализа органической части покрышек приведены выше в таблице 1. Коэффициент замены угля покрышками составляет 1,5 т/т, то есть сжигание 1 тонны покрышек равноценно по достигаемому тепловому эффекту сжиганию в конвертере 1,5 т угля. Установлено, что максимальная технологическая эффективность и экологическая безопасность конвертерного процесса обеспечивается при расходе автопокрышек до 2 кг/т стали. Технологические показатели работы 160 т конверторов с использованием отработанных автомобильных покрышек приведены в таблице 2. Использование отработанных автомобильных покрышек позволило повысить приход тепла в конвертер за счет увеличения теплоты сгорания топлива и улучшения условий теплопередачи вследствие повышения светимости факела при сгорании сажистых частиц, что привело к снижению общего расхода топлива.

Таблица 2 – Технологические показатели работы 160-тонных конверторов с использованием отработанных автомобильных покрышек

Показатели	Разработанная технология	Обычная технология
Количество плавов	100	100
Расходы, кг/т жидкой стали:		
Чугуна	773,3	775,1
Лома	313,6	312,0
извести	53,7	54,0
отработанных покрышек	2,8	-
Угля	14,2	18,5
Продолжительность операции, мин:		
предварительного нагрева	5,19	6,0
Продувки	21,5	21,6
Суммарный расход кислорода, м <sup>3</sup> /пл	9703	9695
Состав чугуна, %:		
Si	0,35	0,38
Mn	0,43	0,42
S	0,016	0,016
P	0,17	0,16
Температура чугуна, °С	1326	1330
Состав металла на первой повалке, %:		
C	0,13	0,10
Mn	0,16	0,15
S	0,020	0,020
P	0,015	0,016
Состав шлака на первой повалке, %:		
FeO <sub>общ.</sub>	22,8	24,1
MgO	3,5	3,5
Основность шлака	3,7	3,6
Выход жидкой стали, %	92,0	92,0

Ввод покрышек в конвертер не повлиял на содержание в выбрасываемых в атмосферу газах пыли. Высокая температура и избыток кислорода в конвертерной ванне способствовали полному сгоранию автопокрышек и продуктов их термического разложения, что исключило возможность загрязнения атмосферы продуктами неполного сгорания топлива (сажа, оксид углерода, углеводороды). Концентрация в выбрасываемых в атмосферу газах оксида серы при рекомен-

дуюмом расходе покрывок была не выше чем на сравнительных экспериментах с использованием угля без добавки покрывок.

Экономический эффект от внедрения технологии в условиях ОАО «ЗСМК» составляет более 3 млн. руб. в год, в том числе за счет частичной замены угля покрывками в сталеплавильном производстве, снижение экологических платежей и приема на переработку покрывок сторонних организаций. В настоящее время в сталеплавильном производстве комбината перерабатывается свыше 30 тыс. штук автопокрывок в год, что полностью решило проблему из утилизации в городе Новокузнецке и близлежащих населенных пунктах.

Что касается использования в качестве теплоносителей горючих компонентов твердых бытовых отходов, то безусловно необходима их сортировка с выделением ценных компонентов, а также брикетирование в соответствии с требованиями технологического процесса.

В г. Новокузнецке на пилотной мусоросортировочной установке были изготовлены опытные партии твердого топлива на основе органических компонентов ТБО:

1. Отходы бумаги (прессованные тюки размером 0,6×0,8×0,8 м, массой 80 кг, обвязанные стальной проволокой).

2. Отходы полиэтилена (прессованные тюки размером 0,6×0,8×0,8 м, массой 150 кг, обвязанные полипропиленовой лентой).

3. Отходы полистирола (дробленный материал крупностью 0,02 м., упакованный в полипропиленовые мешки, обвязанные пропиленовой лентой).

Твердые бытовые отходы имеют более низкий уровень влажности и зольности, характеризуются отсутствием мелочи. Коэффициент теплотехнической замены кокса ТБО, представляющий собой отношение величин низшей теплоты сгорания, зависит от их состава и колеблется от 0,67 (бумага) до 1,32 (отходы полиэтилена) т/т, соответственно. В частности коэффициент теплотехнической замены используемого в настоящее время в сталеплавильном производстве ОАО «ЗСМК» угля сорта ССО (р-з Бачатский) составляет при использовании бумаги – 0,7 т/т; полиэтилена – 1,36 т/т; полистирола – 1,24 т/т. Расчетный коэффициент замены чугуна ломом при использовании ТБО составляет 3,0 и 5,87 для бумаги и полиэтилена, соответственно.

Технологические параметры опытно-промышленных плавок в 350-тонных конвертерах с использованием ТБО представлены в таблицах 3-4.

Таблица 3 – Характерные технологические показатели работы 350-тонных конверторов с использованием ТБО (вариант 1)

Наименование показателя	Сравнительные плавки		Опытная плавка
	456152	456153	
Номер плавки	456152	456153	456154
Марка стали	Ст 3пс	18Г2С	18Г2С
Расход чугуна, кг/т	781,2	781,2	780,0
Расход лома, кг/т	341,2	259,7	250,9
Расход извести, кг/т	46,8	50,6	42,06
Расход угля, кг/т	6,1	6,6	6,1
Расход флюса, кг/т	8,4	14,8	12,2
Расход ТБО, кг/т	-	-	4,5
Расход кислорода на прогрев лома, м <sup>3</sup> /т	7,7	7,8	7,7
Расход кислорода на продувку, м <sup>3</sup> /т	51,4	48,3	49,7
Расход кислорода на плавку, м <sup>3</sup> /т	59,1	56,1	57,3
Доля лома в шихте, %	30,4	24,9	24,3
Длительность нагрева лома, мин-сек	6-09	6-04	6-12
Длительность продувки, мин-сек	18-22	17-25	17-22
Состав чугуна, %:			
Si	0,44	0,50	0,44
Mn	0,43	0,40	0,47
S	0,016	0,015	0,017
P	0,09	0,09	0,10
Температура чугуна, °С	1395	1395	1390
Температура стали на первой по-валке, °С	1620	1660	1705
Состав готовой стали, %:			
C	0,09	0,07	0,05
Mn	0,14	0,12	0,13
S	0,016	0,015	0,014
P	0,012	0,012	0,015

Так, при проведении опытной плавки № 456154 с использованием ТБО 18 тьюков общей массой 1,44 т. подавались в конвертер в за-валку совместно с ломом. В течение нагрева лома с весов дополни-тельно присаживали уголь. Длительность нагрева лома составляла 6-12 мин.

Таблица 4 – Характерные технологические показатели работы 350-тонных конверторов с использованием ТБО (вариант 2)

Наименование показателя	Сравнительная плавка	Опытная плавка
Номер плавки	456158	456159
Марка стали	35ГС	18Г2С
Расход чугуна, кг/т	780,6	779,4
Расход лома, кг/т	324,1	257,8
Расход извести, кг/т	51,6	58,2
Расход угля, кг/т	7,5	0,3
Расход флюса, кг/т	17,4	15,1
Расход ТБО, кг/т	-	8,8
Расход кислорода на прогрев лома, м <sup>3</sup> /т	7,0	6,4
Расход кислорода на продувку, м <sup>3</sup> /т	52,0	48,4
Расход кислорода на плавку, м <sup>3</sup> /т	59,0	57,4
Доля лома в шихте, %	29,3	24,9
Длительность нагрева лома, мин-сек	6-04	5-00
Длительность продувки, мин-сек	18-22	17-22
Состав чугуна, %:		
Si	0,63	0,53
Mn	0,45	0,42
S	0,014	0,015
P	0,10	0,09
Температура чугуна, °С	1435	1450
Температура стали на первой повалке, °С	1630	1655
Состав готовой стали, %:		
C	0,10	0,09
Mn	0,16	0,16
S	0,015	0,015
P	0,015	0,014

Как видно (таблица 3), основные технологические параметры опытных и сравнительных плавков по варианту 1 отличаются незначительно. Расход ТБО составил 4,5 кг/т стали. Следует отметить более высокую температуру стали на повалке (1705 °С), в то время как в сравнительных плавках она составила 1620 и 1660 °С. При этом опытные и сравнительные плавки были проведены с одинаковым удельным расходом угля – 6,1 кг/т стали, а температура металла на повалке на опытных плавках повысилась в среднем на 85 °С.

Так, например, при работе с использованием ТБО по варианту 2 (плавка № 456159) ТБО загружали в конвертер отдельным совком

между двумя совками с ломом (таблица 4). Всего было загружено 2,81 т ТБО. Дополнительный теплоноситель (уголь) на плавку практически не подавали (0,11т). Продолжительность нагрева лома была сокращена до 5 мин.

Данные таблицы 4 показывают, что расход ТБО составил 8,8 кг/т. стали. Плавка была проведена практически без угля, при этом температура стали на повалке составила 1655 °С, что на 25 °С превышало температуру стали на сравнительной плавке.

Таким образом, результаты проведенных опытных плавки показали, что топливо на основе горючих компонентов твердых бытовых отходов (бумага, полиэтилен, полистирол и др.) может быть использовано в конвертерной плавке в качестве альтернативного теплоносителя, что позволяет снизить расход чугуна на плавку и значительно повысить технико-экономические показатели процесса. Ввод в конвертер ТБО с расходом 2,1 кг/т стали не ухудшает качество металла.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали: Учебник для вузов / В.А. Кудрин. – М.: «Мир», ООО «Издательство АСТ», 2003. – 528 с.

2. Соколов В.В., Лаврик А.Н., Амелин А.В. и др. Способ производства стали в конвертере // Патент РФ №2215045, С21С5/28. Заявл. 06.05.2002. – Опубликовано 27.10.2003.

3. Мокринский А.В., Лаврик А.Н., Протопопов Е.В. и др. Способ переработки твердых бытовых отходов в кислородном конвертере // Патент РФ №2287111, С21С5/28, F2365/00. Заявл. 02.02.2005. – Опубликовано 10.11.2006.



УДК 669.18.046.5

Р.А. Гизатулин

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

## ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОДАЧИ ГАЗА И ГЛУБИНЫ ПОГРУЖЕНИЯ ФУРМЫ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ГОМОГЕНИЗАЦИИ

Представлены результаты физического моделирования перемешивания стали в ковше. Продолжительность гомогенизации увеличивается по мере уменьшения глубины погружения фурмы; при интенсивности подачи газа более 3,5-4 л/мин (30 нм<sup>3</sup>/ч) время гомогенизации практически не зависит от интенсивности продувки.

The Presented results of physical modeling mixing become in scoop. Length of the averaging increases on measure of the reduction of the depth of the submersion фурмы; at intensities of the presenting the gas more than 3,5-4 l/min (30 nm<sup>3</sup>/ch) time averaging practically does not depend on intensities blowing.

В современной технологии производства стали часть технологических операций – легирование, раскисление, десульфурация, доводка до требуемого химического состава и до оптимальной для разлива температуры – перенесена в ковш. Для успешного завершения проводимых в ковше процессов важна гомогенизация расплава, которая чаще всего производится продувкой аргоном, иногда – азотом. Для ввода газа в расплав широко используют погружаемые фурмы и пористые вставки в футеровке дна ковша. Каждый из способов имеет свои достоинства и недостатки и выбор того или иного метода зависит от местных условий. При этом важно знать минимальную продолжительность продувки, обеспечивающей гомогенизацию по составу: недостаточная продолжительность продувки опасна из-за возможности появления химической неоднородности слитков (литых заготовок). Чрезмерно большая длительность продувки ведёт к бесполезной трате дорогостоящего аргона.

Считается, что для более полного использования энергии барботирующего расплава газа, глубина погружения фурмы должна быть максимальной. Но результаты физического моделирования [1] показали, что фурму достаточно погрузить и на половину глубины рас-

плава. Непосредственная оценка интенсивности перемешивания в 130-тонном ковше [2] также показала, что глубина погружения фурмы, по крайней мере, не меньше 0,5 высоты ковша, практически не сказывается на скорости перемешивания.

Кроме того, обращает на себя внимание расхождение оценок достаточной продолжительности продувки, полученной моделированием (физическим и математическим), и длительностей продувок, требуемых для гомогенизации в производственных условиях (на натуре). Теоретическая продолжительность продувки в 2-5 раз короче практической. Так, например, результаты моделирования [1,3,4] показывают, что для перемешивания стали в 350-тонном ковше достаточно 1,5-2 минутной продувки. В тоже время, непосредственное изучение процесса гомогенизации свидетельствует, что для массы металла 110-115 т для этого нужно не менее 8 минут [2], для 200-тонного ковша на это потребуется примерно 10 минут [5], при практически одинаковой интенсивности подачи газа – 50-60  $\text{нм}^3/\text{ч}$ .

Методом физического моделирования оценили влияние интенсивности подачи газа и глубины погружения фурмы на продолжительность гомогенизации в сталеразливочном ковше.

Принципиальная схема установки изображена на рисунке 1.

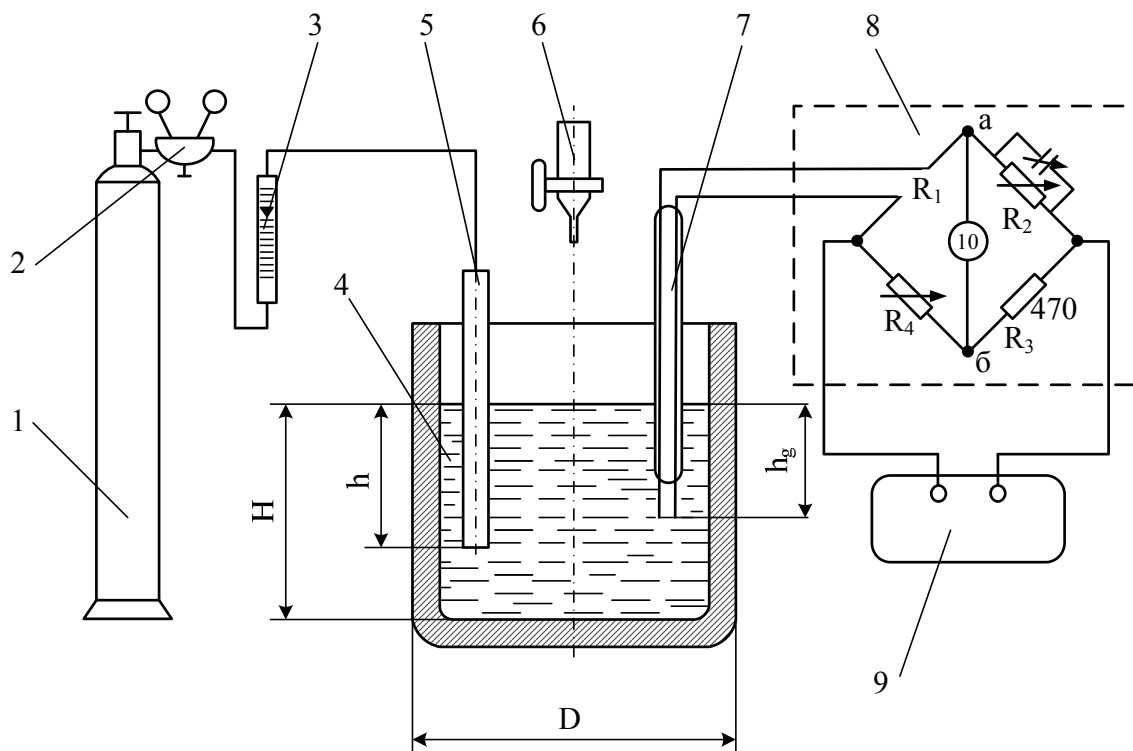


Рисунок 1 – Схема установки для исследования длительности перемешивания

Модель сталеразливочного ковша представляет собой стеклянный цилиндр с внутренним диаметром  $D = 267$  мм. Высота (уровень) водопроводной воды в цилиндре составляет  $H = 260$  мм. Объем жидкости в модели – 15 л. В качестве барботирующего газа применяется технический азот из баллона (1), интенсивность подачи которого (л/мин) контролируется ротаметром (3). Регулировка подачи газа производится редуктором (2). Газ поступает в объем жидкости через фарфоровую трубку-фурму (5) с внутренним диаметром 4 мм. Фурма закреплена на каретке вертикальной стойки, что позволяет устанавливать её рабочий конец на любой заданной глубине.

Процесс гомогенизации ванны наблюдается по изменению электросопротивления воды в сосуде-модели после ввода 10 мл 7,5 % раствора хлористого натрия из бюретки (6). Для измерения электрического сопротивления раствора имеется датчик (7), представляющий собой стеклянную трубку с двумя впаянными платиновыми электродами.

Электролит модели (его сопротивление) представляет собой одно из плеч моста переменного тока (8). Во избежание поляризации электродов датчика мост питается переменным током частотой 15 кГц, подаваемым генератором звуковой частоты ГЗ-33 (9). К точкам «а» и «б» диагонали моста подключен через согласующий усилитель самопишущий потенциометр КСП – 4 с пределами измерения 10-120 мВ. Установка согласующего усилителя вызвана тем, что, во-первых, для нормальной работы моста (8) внутреннее сопротивление нагрузки на диагонали «а» – «б» должно быть порядка нескольких Мом. Входное же сопротивление потенциометра КСП – 4 составляет всего 60 Ом. Во-вторых, прибор КСП – 4 предназначен для измерения напряжений постоянной полярности, в то время как мост (8) питается переменным током. При коэффициенте усиления  $\mu = 0,9-1,1$  усилитель имеет линейную характеристику; при отсутствии входного сигнала напряжение выходного сигнала равно 10 мВ.

Перед, началом опыта редуктором по ротаметру устанавливается нужная интенсивность продувки. Фурма и датчик погружаются на требуемую глубину. Переменными сопротивлениями  $R_2$ ,  $R_4$  и конденсатором  $C$  производится балансировка моста (8) по контрольному высокоомному милливольтметру (10). В этих условиях выходное напряжение согласующего усилителя составляет 10 мВ.

Затем из бюретки вводили порцию хлористого натрия и одновременно делали отметку на ленте самописца КСП – 4. При омывании обогащённых хлористым натрием объёмами раствора электродов дат-

чика баланс моста нарушается. На диагонали «а» – «б» появляется разность потенциалов, которая фиксируется на ленте самописца. На начальном этапе изменение сопротивления электролита между электродами датчика хаотично, но по мере перемешивания броски постепенно уменьшаются и, начиная с некоторого момента, разбаланс моста становится постоянным – хлористый натрий распределился по объёму модели равномерно. Электропроводность всех локальных объёмов потока раствора, омывающего электроды датчика, одинакова.

Принято считать ванну гомогенизированной, если относительная доля индикатора в любом локальном объёме ванны различается меньше, чем на 0,05 [6]. Степень гомогенизации в этом случае определится как

$$I = \left| \frac{C^* - C_i}{C^*} \right| \leq 0,05 \quad (1)$$

где  $C^*$  – среднее значение концентрации индикатора по  $n$  локальным объёмам;  $C_i$  – концентрация индикатора в  $i$ -том локальном объёме.

Поскольку величина  $(C^* - C_i)/C^*$  может принимать как положительные, так и отрицательные значения, ванна считается гомогенизированной, если  $I \leq 2 \times 0,05 = 0,10$ .

При вводе 10 мл 7,5 % раствора соли концентрация хлористого натрия в нашей ванне возрастала на 0,005 %. Зависимость электропроводности раствора хлористого натрия от содержания в нём NaCl до уровня 0,03-0,04 % практически линейна. Это позволяло проводить по 5-6 опытов без смены раствора.

Опыты проводились в условиях, когда передаточные функции цепи: концентрация соли в ванне – электропроводность – разбаланс моста были линейны. Поэтому гомогенизация считалась завершённой с момента, когда колебания напряжения разбаланса, в соответствии с принятыми правилами были меньше или равны  $\pm 0,05$  ( $\Delta U$ ). Каждый режим продувки повторяли не менее 10 раз.

Проведено семь серий экспериментов, различающихся величиной погружения фурмы и датчика (таблица).

Таблица – Глубины погружения фурмы и датчика

Номер серии	1	2	3	4	5	6	7
$h_{\phi}$ , мм	240	120			50		
$h_d$ , мм	150	60	100	220	50	120	220

Это сделано исходя из следующих соображений. При глубоком погружении фурмы ( $h_{\text{ф}} = 0,8-0,9 \text{ Н}$ ) в циркуляцию вовлекаются, по-видимому, все объемы металла, в том числе и находящиеся в самой нижней (придонной) части ковша. В этой ситуации глубина погружения датчика роли не играет, что подтвердилось при выполнении первой серии опытов. Изменение глубины погружения датчика после завершения процесса перемешивания не приводило к изменению величины разбаланса измерительного моста. Однако вполне возможно, что по мере уменьшения погружения фурмы, объёмы жидкости, расположенные ниже ее рабочего конца, в общую циркуляцию вовлекаются меньше и при каких-то малых погружениях может оказаться, что придонные слои становятся застойными, мёртвыми. Для фиксации таких застойных зон датчик устанавливали на различных уровнях.

При планировании работы предполагали изучить скорость гомогенизации при интенсивности подачи газа, равной 20-60  $\text{нм}^3/\text{час}$  на натуре. При выполнении работы выяснилось, что при интенсивности подачи, превышающей 3,5-4 л/мин (примерно 30  $\text{м}^3/\text{час}$  в натуре) продолжительность гомогенизации практически не зависит от дальнейшего увеличения интенсивности продувки, поэтому основное внимание было уделено продувкам с пониженной интенсивностью, вплоть до 0,7 л/мин (примерно 5,3  $\text{нм}^3/\text{час}$  на натуре).

На рисунке 2 представлены зависимости продолжительности гомогенизации жидкости от интенсивности подачи газа для проведённых серий опытов.

Из этого рисунка видно, что для любого уровня погружения фурмы продолжительность гомогенизации при интенсивности подачи газа, превышающей 3,5-4 л/мин практически постоянна. При интенсивности подачи газа меньше 3,5 л/мин продолжительность гомогенизации возрастает по мере уменьшения интенсивности подачи газа.

Наиболее интенсивно перемешиваются объёмы, расположенные выше горизонта ввода газа в жидкость. Гомогенизация в этой части ковша завершается раньше, чем в объёмах, расположенных ниже этого уровня и, следовательно, располагая датчик выше уровня ввода газа, мы определяем продолжительность гомогенизации в верхних горизонтах ковша. По-существу, при этом определяется продолжительность квазигомогенизации. Истинная продолжительность гомогенизации определяется тогда, когда датчик располагается в придонной части ковша.

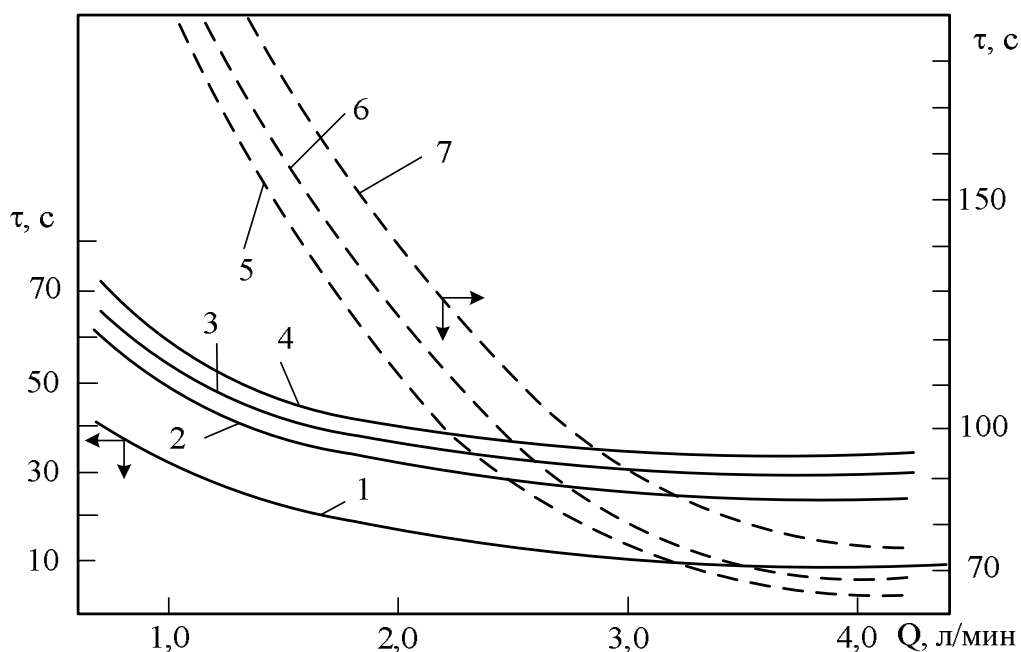


Рисунок 2 – Зависимость продолжительности гомогенизации от интенсивности продувки

На продолжительность продувки существенное влияние оказывает глубина погружения фурмы: по мере подъема фурмы продолжительность гомогенизации увеличивается и, по-видимому, особенно быстро при  $h_{\phi} / H > 0,5$  (рисунок 3). Здесь сопоставлена продолжительность гомогенизации и безразмерные глубины погружения фурмы при интенсивности подачи азота 4 л/мин (глубина датчика  $h_{\text{д}} / H = 0,85$ ). Даже при малых погружениях фурмы ( $h_{\phi} / H = 0,19$ ) застойные зоны в нижних горизонтах ковша не обнаружены.

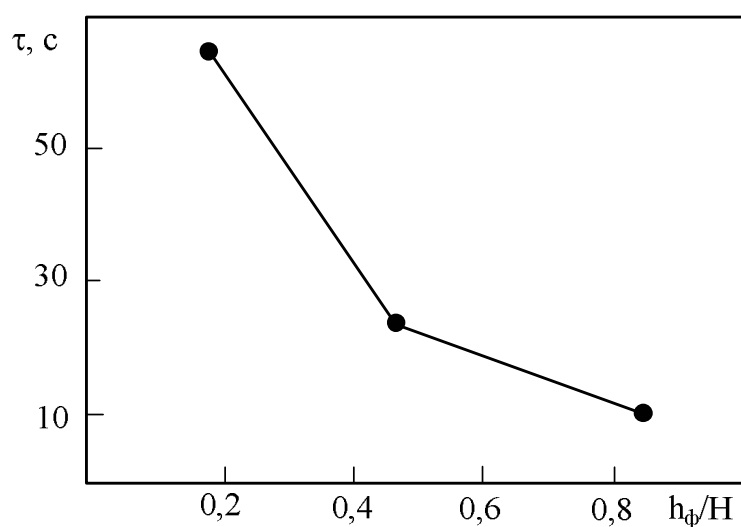


Рисунок 3 – Влияние глубины погружения фурмы на продолжительность перемешивания

Перенос результатов моделирования по продолжительности гомогенизации на продувку в 130-тонном ковше даёт неудовлетворительные результаты. Так при глубине погружения фурмы  $h_{\text{ф}} = 2,7$  м и интенсивности подачи аргона  $Q \geq 30$   $\text{нм}^3/\text{час}$  продолжительность продувки должна быть не менее 35 с; при  $h_{\text{ф}} = 1,35$  м продолжительность гомогенизации составляет  $\tau = 120$  с (2 мин). Эти результаты сходны с результатами моделирования [1, 3, 4], но они в первом варианте почти в 10 раз, а во втором в 3 раза меньше времени гомогенизации, оценёнными непосредственными опытами в 130-тонном ковше.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Ю.М. Перемешивание металла в ковше при продувке нейтральным газом / Ю.М. Кузнецов, С.И. Чуваев // Сталь. – 1982. – № 5. – С. 35-36.

2. Гомогенизация стали в ковше при продувке аргоном / В.Г. Кадуков, А.Е. Коган, Н.А. Фомин и др. // Известия вузов. Черная металлургия. – 1985. – № 10. – С. 46-50.

3. Бакакин А.В. О математическом описании течения металла в ковше при продувке инертным газом / А.В. Бакакин, В.О. Хорошилов // Известия вузов. Черная металлургия. – 1981. – № 1. – С. 143-144.

4. Бакакин А.В. Результаты математического моделирования теплообменных процессов при внепечной обработке / А.В. Бакакин // Известия вузов. Черная металлургия. – 1985. – № 11. – С. 21-25.

5. Режим продувки металла аргоном в сталеплавильном ковше / В.Г. Карпешин, Г.Н. Еланский, В.М. Архипов и др. // Совершенствование технологии производства электростали (МЧМ СССР). – М.: Металлургия, 1986. – С. 34-41.

6. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками / Ф. Стренк / Пер. с польского. – Л.: Химия, 1975. – 387 с.

УДК 621.73

В.Н. Перетятыко, А.В. Бахаев\*, С.А. Вахман\*, М.В. Филиппова  
ООО «ЗРМО»\*, г. Новокузнецк,  
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный  
университет», г. Новокузнецк

## ВЫБОР РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВКИ ПРИ ШТАМПОВКЕ ШАРА

На примере штамповки шара из заготовок разного диаметра проведен анализ данных компьютерного моделирования и эксперимента. Получена удовлетворительная сходимость результатов. Можно рекомендовать методы компьютерного моделирования при исследовании процессов обработки металлов давлением.

On an example of punching of a full-sphere from bars of different diameter the analysis of the data of computer modelling and experiment is conducted. The satisfactory convergence of outcomes is obtained. It is possible to recommend methods of computer modelling at research of processes of processing of metals by pressure.

Для дробления и измельчения породы используют шаровые мельницы, в которых мелющими телами являются шары. Шары больших диаметров 120 мм и выше получают штамповкой, т.к. мощности шаропрокатного стана (в условиях Новокузнецкого металлургического комбината) недостаточны для производства шаров такого диаметра.

По существующее технологии цилиндрическую заготовку диаметром 85 мм и высотой 195 мм для удаления окалины осаживают до высоты 130 мм и в следующем ручье штампуют на шар диаметром 120 мм. Затем шар проходит закалку с отпуском. Исследование микроструктуры шара показало, что величина зерна перед закалкой зависит от неравномерности деформированного состояния шара при его штамповке. Шар, который при штамповке имеет более равномерную деформацию, получает зерно одного балла и равномерную структуру.

Задачей настоящего исследования является анализ влияния размеров исходной заготовки, из которой штампуются шар, на деформированное состояние шара.

Моделирование по выбору размеров заготовки проводим с использованием метода конечных объемов, который рекомендуется использовать при больших пластических деформациях [1,2].



Моделировали исходные заготовки диаметром 80, 90 и 110мм, высота которых составляла соответственно 224, 176 и 118мм. На первых двух заготовках моделировали штамповку с предварительной осадкой до 130мм. Третью заготовку сразу использовали для моделирования штамповки шара без предварительной осадки.

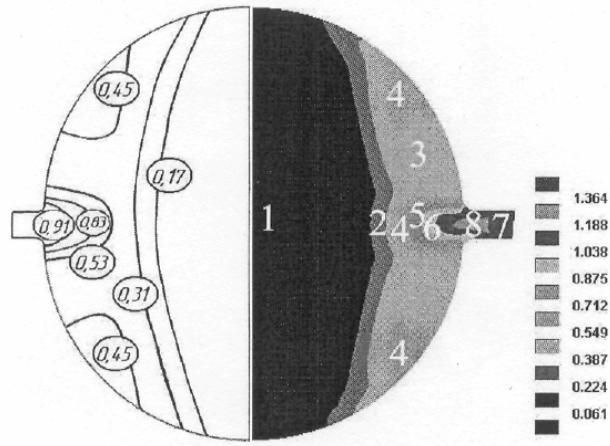
Результат компьютерного моделирования приведен на рисунках 1а, б, в (правая часть рисунка). Как видно из рисунков, наименее деформированная зона расположена в верхней и нижней части шара. Зона наибольшей деформации расположена у всех исследуемых образцов в центре заусенца. Неравномерность интенсивности деформации при штамповке шара может достигать 6-8 при штамповке заготовки диаметром 80 мм ( $H=224$  мм), 4-5 с диаметром 90мм ( $H=176$  мм) и 2-3 с диаметром 110 мм ( $H=1178$  мм).

На рисунке 2 представлен график изменения интенсивности деформации вдоль вертикальной оси симметрии от центра поверхности шара. Из рисунка 2 видно, что при деформации высокой заготовки  $H=224$  мм (диаметром 80мм) сплошная линия 1 интенсивность деформации имеет максимальную величину  $\varepsilon_i=0,953$  в центре шара. От центра к поверхности шара интенсивность деформации уменьшается, достигая на поверхности минимального значения  $\varepsilon_i=0,19$ . С уменьшением высоты заготовки (увеличения диаметра) величина интенсивности деформаций в центре шара уменьшается. Сплошной линией 2 показана интенсивность деформации по вертикальной оси симметрии для заготовки высотой  $H=176$  мм (диаметр 90 мм) и сплошной линией 3 для заготовки высотой  $H=118$  мм (диаметр 110 мм).

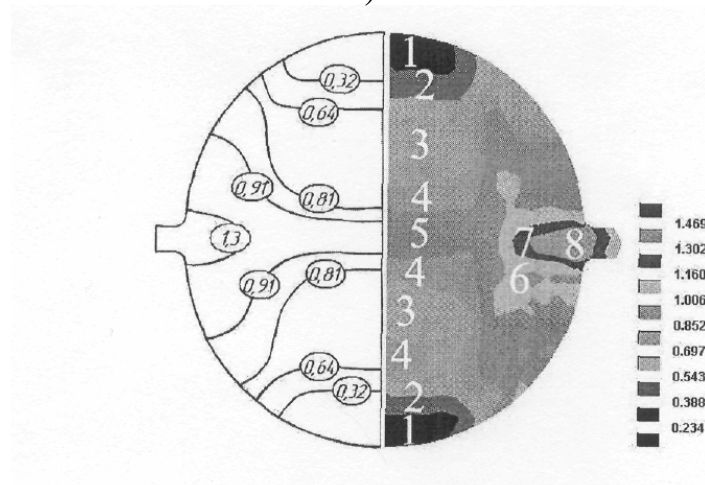
Особенно следует отметить распределение интенсивности деформации для низкого образца  $H=178$  мм (линия 3), у которого величина деформации увеличивается от центра к поверхности шара.

Компьютерное моделирование показало, что наиболее технологичная высота образца составляет 100 мм (высота 143 мм), причем интенсивность деформаций на поверхности и в центре шара примерно одинакова.

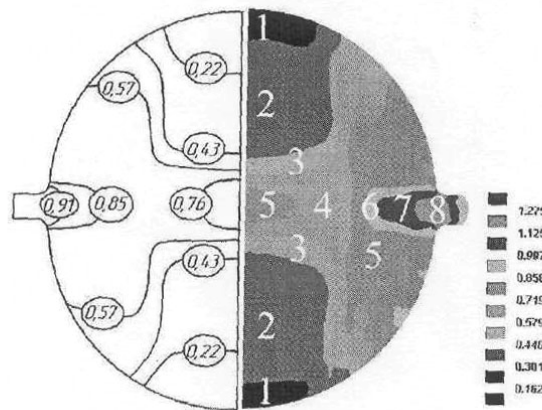
Для проверки адекватности моделирования методом конечных объемов исследовали напряженно-деформированное состояние шара, используя методику измерения поверхности, разработанную Г.Д. Делем. Для этого путем осадки цилиндрических образцов на смазанных солидолом плитах определяли интенсивность напряжений  $\sigma_i$  и интенсивность деформаций  $\varepsilon_i$ , а также измеряли твердость по Бринелю.



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Распределение интенсивности деформаций диаметральной плоскости шара при компьютерном моделировании (правая часть рисунка) и данным эксперимента (левая часть рисунка) из заготовки: а – высота 224 мм, диаметр 80 мм; б – высота 176 мм, диаметр 90 мм; в – высота 118 мм, диаметр 110 мм



1 – высота 224 мм, диаметр 80 мм; 2 – высота 176 мм, диаметр 90 мм; 3 – высота 118 мм, диаметр 110 мм.

Рисунок 2 – Изменение интенсивности деформаций по высоте шара при штамповке из заготовок:

$$\sigma_i = \frac{4P}{\pi D^2}; \quad \varepsilon_i = \ln \frac{H_0}{H},$$

где  $P$  – усилие осадки;  $D$  – диаметр цилиндра после осадки;  $H_0, H$  – начальная и конечная высота.

По результатам экспериментальных данных по осадке образцов со степенью деформации  $\varepsilon=10,20,30,40,50$  и  $60\%$  строим тарировочный график в координатах «интенсивность напряжений – твердость по Бриннелю – интенсивность деформации», который использовали для анализа интенсивности деформации при штамповке шара.

Шар штамповали из алюминиевых заготовок высотой 118,176 и 224 мм и диаметром соответственно 110, 90 и 80 мм.

После штамповки шар разрезали по диаметральной плоскости и производили замеры твердости. По тарировочному графику, зная величину твердости по Бриннелю, находили значения интенсивности деформаций в той точке, где замерялась твердость [4].

Соединяя точки с равной величиной деформации, получаем изолинии равно интенсивности деформаций. Экспериментальные данные приведены на левой половине рисунков 1 а,б,в.

Сравнивая левые и правые части рисунков 1 а,б,в, можно отметить, что экспериментальные данные по интенсивности деформаций при штамповке шара качественно совпадают с результатами компьютерного моделирования.

На рисунке 2 пунктирными линиями приведены экспериментальные данные по интенсивности деформаций вдоль вертикальной оси симметрии. Сравнивая опытные данные и результаты компьютерного моделирования, можно отметить, что погрешности компьютерного моделирования не превышают 10 % ,что подтверждает надежность компьютерного моделирования для решения задач обработки металлов давлением.

По результатам компьютерного моделирования также установлено, что размеры исходной заготовки с более равномерным распределением деформации составляют: высота 128 мм, диаметр 105 мм.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. P. Ding, D.Y. Ju, T. Ione and E. de Vries: Numerical Simulation of Forging and Subsequent Heat Treatment of Rob by a Finite Volume Method. The Third International Conference on Physical and Numerical Simulation of Material and hot Working (ICPNS.99), 1999, pp.270-280.

2. P. Ding, D.Y. Ju, S. Imatani and T. Ione: Numerical Simulation of Coupled Thermo-mechanical Behavior of a Cylinder Billet during Hot-forging Proce. The 1<sup>st</sup> International Conference on Thermal Process Modeling and Computer Simulation, 2000, pp. 263-269.

3. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением / М.В Сторожев, Е.А Попов. – М.: Машиностроение, 1977 – 200 с.

4. Дель Г.Д Определение напряжений в пластической области по распределению твердости / Г.Д. Дель – М: Машиностроение, 1971 – 200 с.

УДК 669.162.1:622.785

М.И. Карпенко, В.А. Долинский, В.М. Страхов

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

## ТЕХНОЛОГИЯ АГЛОМЕРАЦИИ ПРИ ЧАСТИЧНОЙ ЗАМЕНЕ КОКСОВОЙ МЕЛОЧИ БУРОУГОЛЬНЫМ ПОЛУКОКСОМ

В настоящее время дефицит коксовой мелочи в агломерационном производстве частично восполняется другим топливом, например, некоторыми видами угля. В работе рассмотрено перспективное направление по замене коксовой мелочи буроугольным полукоксом. Установлена возможность такой замены и влияние ее на показатели агломерационного процесса. Рекомендованы оптимальные количество и крупность буроугольного полукокса.

At present lack coke small in agglomerating production is partly filled by other fuel, for instance, some type of coal. Perspective direction in work on change coke small hairs brown half-coke is considered. The possibility of such change, its influence upon factors agglomerating process are Installed. The optimum amount of the change and dimension of particle brown half-coke are recommended.

В настоящее время дефицит коксовой мелочи для агломерации вынуждает вести поиски углеродистых заменителей (антрацитовый штыб, тощий уголь и др.) [1-6]. Наиболее перспективным направлением в решении создавшейся проблемы является замена коксовой мелочи буроугольным полукоксом.

Для исследования была взята шихта аглопроизводства (участок № 1) Абагурской обогатительно-агломерационной фабрики ОАО «Евразруда». Состав аглошихты при проведении опытных спеканий был следующий, %: концентрат – 48,83; аглоруда – 13,12; шлам – 2,27; известняк – 6,73; топливо – 4,05; возврат – 25,0. Спекания проводили на лабораторной установке диаметром 236 мм. В качестве заменителя коксовой мелочи использовали буроугольный кокс (БПК), полученный из бурых углей Канско-Ачинского бассейна по технологии «Сибтермо».

Сравнительные характеристики коксовой мелочи и БПК приведены в таблице 1, 2. Из данных таблицы 1 видно, что БПК отличается от коксовой мелочи пониженным содержанием золы и общей серы и повышенным выходом летучих веществ. Содержание твердого углерода в БПК и коксовой мелочи находится на одном уровне (83,8 и 85,6 % соответственно).

Таблица 1 – Химический состав и физико-химические свойства БПК и коксовой мелочи

Показатели	БПК	Коксовая мелочь
Технический анализ, %:		
$W^a$	1,17	1,03
$A^d$	8,59	12,58
$V^{daf}$	8,31	2,13
$S^d$	0,12	0,42
$P^d$	0,003	0,050
Содержание углерода ( $C_{fix}$ ), %	83,8	85,6
Элементный состав, %:		
$C^{daf}$	90,85	97,08
$H^{daf}$	1,97	0,67
$N^{daf}$	0,89	1,57
$O^{daf}$	6,16	0,19
$S^{daf}$	0,13	0,49
Теплота сгорания, кДж/кг:		
$Q_i^r$	28945	29314
$Q_s^{daf}$	32516	33683
Реакционная способность по $CO_2$ при 1000 °С, $cm^3/(г \cdot c)$ (ГОСТ 10089-89)	6,48	1,02
Плотность, $г/см^3$ : действительная;	1,846	1,951
кажущаяся	0,924	1,037
Пористость, %	49,9	46,8
Структурная прочность, %	3,2	83,6
Температура воспламенения, °С	350	600

Теплота сгорания БПК достаточно высокая и сопоставима с таковой коксовой мелочи (таблица 1).

Отличительной особенностью БПК является его высокая реакционная способность и низкая температура воспламенения (таблица 1). Излишне низкая температура воспламенения топлива приводит к растягиванию зоны горения и уменьшению в ней концентрации тепла [1], что сопровождается ухудшением физико-химических свойств спёка.

Таблица 2 – Гранулометрический состав БПК и коксовой мелочи

Параметры	Содержание, %		Средний размер
			куска, $d_{cp.}$ , мм
Буроугольный полукокс			
Классы, мм:	10-6	2,5	8,0
	6-3	23,2	4,5
	3-1	56,9	2,0
	1-0	17,4	0,5
Средневзвешенное значение		100,0	2,47
Суммарные классы, мм: 6-0		97,5	2,33
	3-0	74,3	1,65
	6-1	80,1	2,72
Коксовая мелочь			
Классы, мм:	>3	4,0	4,5
	3-2	30,0	2,5
	2-1	27,0	1,5
	1-0,5	5,0	0,75
	0,5-0	34,0	0,25
Средневзвешенное значение		100,0	1,46

По крупности БПК представляет собой мелкозернистый материал со средним размером куска примерно 2,5 мм (таблица 2). Причем преобладающей фракцией БПК является 0 – 3 мм (74,3 %), т.е. в основном соответствует крупности коксовой мелочи.

Было проведено 4 серии спекания шихт, отличающихся составом топлива и его крупностью. Расход топлива выдерживался по всем опытам одинаковым, составляя по отношению к рудно – флюсовой части шихты 5,4 % и к общей шихте (с возвратом) – 4,05 %.

Результаты опытных спеканий приведены в таблице 3.

С введением в шихту БПК отмечается снижение температурного уровня в зоне горения и уменьшение времени спекания, о чем можно судить по термограммам спекания (рисунок 1).

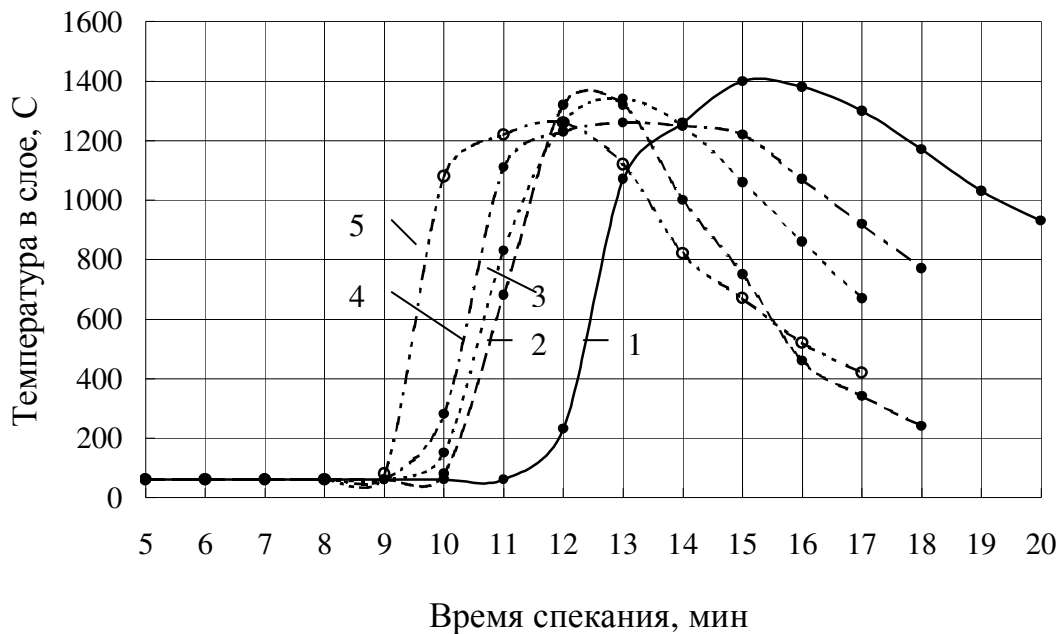
Снижение температуры газа можно объяснить меньшей теплотой сгорания БПК по сравнению с коксовой мелочью (таблица 1), а также более низкой температурой его воспламенения, растягивающей зону горения и рассредотачивающей выделение тепла на большие объемы шихты. Снижение температуры в зоне образования агломерата ухудшает его прочность, о чем можно судить по увеличению выхода возврата (рисунок 2а, б). Компенсировать снижение тепловыделения можно соответствующим увеличением доли БПК.

Таблица 3 – Показатели спекания шихт с использованием БПК

Серия опытов	№ опыта	Состав топлива, %	Крупность БПК, мм	Время спекания, мин.	Максимальная температура в слое, °С	Вертикальная скорость спекания, мм/мин	Средняя скорость фильтрации воздуха, м/с	Удельная производительность, т/(м <sup>2</sup> ·ч)	Выход возврата, %	Механическая прочность агломерата на сбрашивание, %
I	3	100К	3-0 (К <sup>1</sup> )	22	1430	13,6	0,426	0,69	24,4	15,9
	11	100К		20	1440	15,0	0,590	0,78	20,1	16,1
	12	100К		19	1420	15,8	0,523	0,80	19,2	15,8
II	4	20БПК+80К	5-1	20	1280	15,1	0,447	0,82	24,1	15,0
	7	40БПК+60К		16	1350	18,9	0,643	0,87	26,4	16,4
	13	40БПК+60К		20	1430	11,0	0,585	0,82	20,4	18,0
	14	40БПК+60К		18	1300	16,7	0,641	0,94	18,9	18,4
	6	60БПК+40К		21	1260	14,3	0,425	0,78	28,0	17,2
	17	60БПК+40К		17	1330	17,6	0,634	0,83	27,6	16,8
	8	80БПК+20К		17	1230	17,6	0,619	0,82	25,3	17,8
III	9	100БПК	3-0	14	1260	21,4	0,653	0,84	31,9	20,9
	18	60БПК+40К		16	1310	18,7	0,553	0,78	30,8	20,1
	16	100БПК		17	1250	17,6	0,540	0,66	40,5	25,0
IV	19	60БПК+40К	3-0,5	17	1345	17,6	0,632	0,97	23,9	18,7
	20	60БПК+40К		17	1330	17,7	0,680	0,79	25,5	19,0
	21	80БПК+20К		18	1260	16,7	0,600	0,69	30,8	19,6

Примечание: 1 – К – коксовая мелочь.





1 – с коксовой мелочью 100 %;  
 2, 3, 4, 5 – с заменой 40, 60, 80, 100 % коксовой мелочи соответственно

Рисунок 1 – Термограммы спекания агломератов

Расчеты показывают, что для компенсации снижения тепловыделения потребуется увеличение расхода БПК на 4,0 %, т.е. коэффициент замены коксовой мелочи на БПК составит 1,04. Таковую компенсацию целесообразно проводить повышением крупности топлива, увеличивающей продолжительность его горения.

Так по данным Ю.С. Карабасова [1] лучшие показатели работы агломерационной установки получены при использовании торфяного кокса крупностью 5-3 и 8-5 мм. Однако с увеличением размера топливных частиц возрастает расстояние между ними при распределении в шихте, увеличивается объем шихты, обрабатываемый горячей частицей. Это приводит к снижению температуры, ухудшению условий образования блоков и в итоге прочность агломерата также уменьшается [2].

Нашими исследованиями установлено, что при применении БПК фракции 5-1 мм по сравнению с использованием фракции 3-0 мм наблюдается более высокая средняя скорость фильтрации воздуха, меньший выход возврата и достаточно высокая удельная производительность аглоустановки по сравнению с использованием класса 3-0 мм (таблица 3).

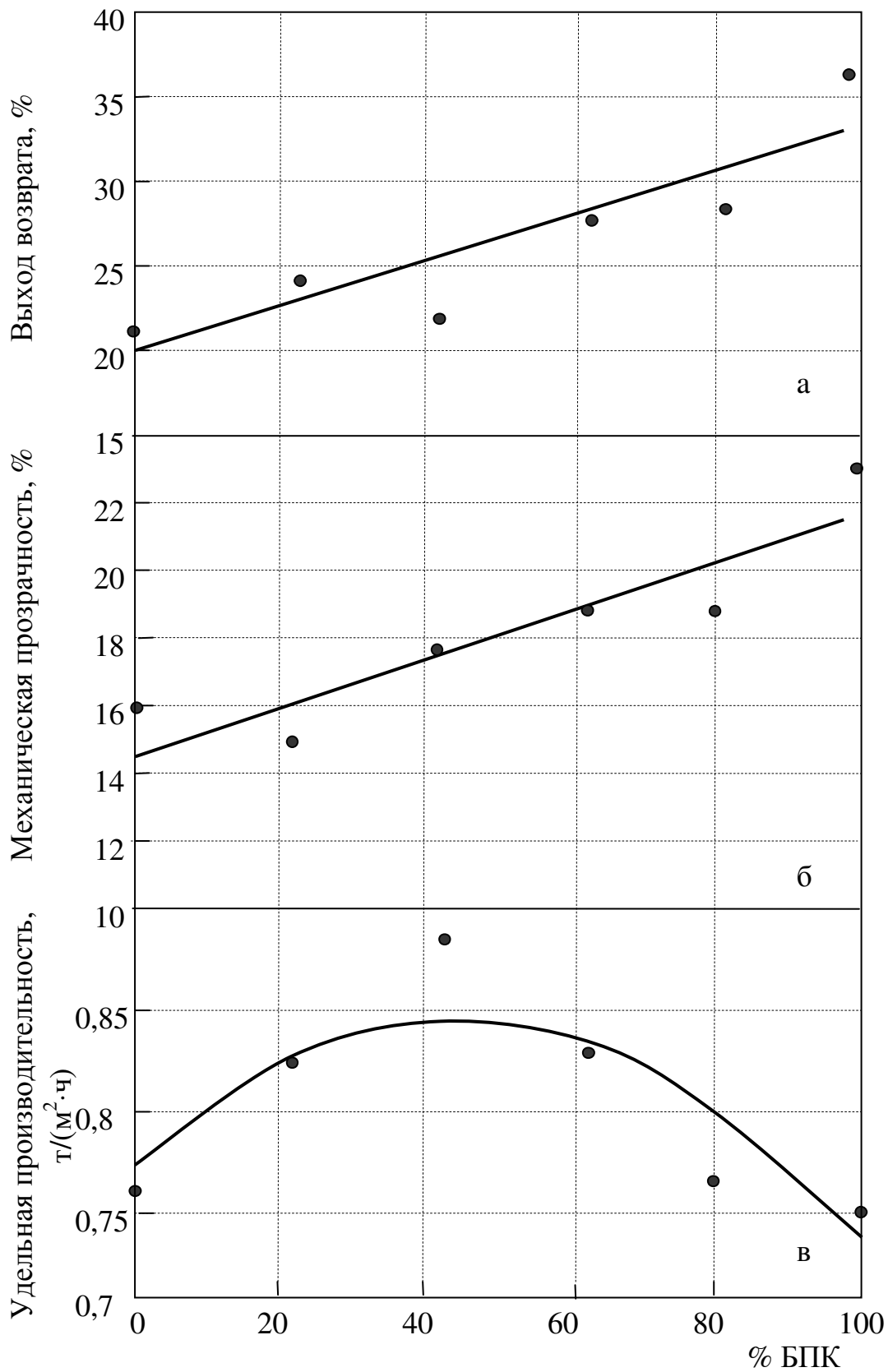


Рисунок 2 – Выход возврата (а), механическая прочность (на сбрасывание) агломерата (б), удельная производительность (в) в зависимости от доли участия BPK в шихте

Оптимальная крупность агломерационного топлива в практических условиях подбирается в каждом конкретном случае с учетом скорости его горения, прочности готового продукта, крупности других компонентов шихты. Как показали опыты Е.Ф. Вегмана и других исследователей [2], пылевидный коксик, ухудшая газопроницаемость аглошихты, замедляет процесс спекания и понижает прочность агломерата, так как топливные частицы размером менее 0,5 мм при горении не в состоянии создать вокруг себя блоки агломерата и тем более систему блоков, образующих прочный кусок. Кроме того, фракция 0,5-0 мм ухудшает комкуемость шихты. В работе [1] отмечается плохая комкуемость мелочи бурогоугольного полукокса.

В зоне сушки и подогрева происходит разрушение непрочных зерен полукокса и вынос частиц топлива с отходящими газами. По данным Г.М. Ефименко и др. [2], наилучшие показатели по скорости спекания достигаются при работе на коксовой мелочи фракции 3-0,5 мм.

В опытах серии IV (таблица 3) с использованием БПК фракции 3-0,5 мм повышается средняя скорость фильтрации воздуха, уменьшается выход возврата и достигается достаточно высокая удельная производительность по сравнению с опытами серии III с аналогичной заменой коксовой мелочи на БПК фракции 3-0 мм.

Таким образом, из опытных данных следует, что предпочтительным классом крупности БПК при замене им коксовой мелочи является фракция 5-1 мм.

В серии II проводились опыты с заменой коксовой мелочи на БПК через каждые 20 %, вплоть до полной (100 %) замены. При этом были выявлены следующие закономерности. С увеличением доли БПК возрастает скорость фильтрации воздуха за счет более высокой газопроницаемости слоя, что приводит к повышению вертикальной скорости спекания (таблица 3). При этом удельная производительность аглоустановки (см. рисунок 2в) достигает максимального значения при доле БПК в пределах 40-50 %, повышаясь на 15-20 %. В связи с тем, что с повышением доли БПК происходит некоторое снижение механической прочности агломерата и увеличение выхода возврата в определенный период (при превышении доли замены более 50 %) наблюдается снижение удельной производительности аглоустановки (рисунок 2,в).

Прочность агломерата дополнительно была определена в барабане по ГОСТ 15137 – 77 (таблица 4).

Таблица 4 – Механическая прочность агломерата при испытании в барабане по ГОСТ 15137 - 77

Опыт	X (+5 мм), %	X <sub>1</sub> (-0,5 мм), %
11, 12 (100К, кл. 3 – 0 мм)	63,2	4,7
13, 14 (40БПК, кл. 5 – 1 мм)	61,5	5,3
19, 20 (60БПК, кл. 3 – 0,5 мм)	55,4	5,5

Полученные данные согласуются с зависимостями, установленными при испытании опытного агломерата на сбрасывание, а именно, с введением БПК в состав топлива механическая прочность агломерата снижается, причем при замене до 40 % снижается незначительно. Такое изменение этого показателя обусловлено превышением величины снижения выхода годного над величиной повышения производительности. Отмеченная выше тенденция снижения температурного уровня в зоне горения топлива в меньшей степени проявляется в опытах с заменой коксовой мелочи на БПК на 40 и 60 %. На термограмме (рисунок 1) максимальные температуры в этих опытах (усредненные данные по каждой серии опытов) близки к температуре спекания на 100 % коксовой мелочи. Вместе с тем при использовании БПК наблюдается повышение температуры отходящих газов (под решеткой) на 130-140 °С (с 540-600 °С на коксовой мелочи до 670-740 °С с БПК).

Таким образом, из вышесказанного следует, что наиболее эффективной можно считать долю замены коксовой мелочи на БПК до 40-50 %.

#### ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования установили:

1. Введение БПК в аглошихту интенсифицирует процесс агломерации: с повышением доли БПК линейно повышается вертикальная скорость спекания.

2. С введением БПК в шихту снижается механическая прочность агломерата, а выход возврата повышается.

3. Крупность использованного в опытах БПК (5-1, 3-0, 3-0,5 мм) существенного влияния на показатели процесса не оказывает. Однако, учитывая отдельные положительные моменты процесса, а также высокую реакционную способность БПК, для агломерации целесообразно использовать фракцию 5-1 мм.

4. Для улучшения количественных показателей аглопроцесса и сохранения качества агломерата на производственном уровне рекомендуется замена коксовой мелочи в топливе на БПК в количестве 40-50 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карабасов Ю.С. Использование топлива в агломерации / Ю.С. Карабасов, В.С. Валавин. – М.: Metallургия, 1976. – 264 с.
2. Вегман Е.Ф. Теория и технология агломерации / Е.Ф. Вегман. – М.: Metallургия, 1974. – 288 с.
3. Карабасов Ю.С. Влияние гранулометрического состава топлива на показатели агломерационного процесса / Ю.С. Карабасов, В.С. Валавин, Е.М. Воропаев // Черная металлургия. – 1972. – № 23. – С. 17-19.
4. Новые виды агломерационного топлива / С.П. Ефимов и др. // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 1976. – № 4. – С. 45-46.
5. Вегман Е.Ф. Интенсификация агломерационного производства / Е.Ф. Вегман, А.Н. Пыриков, А.Р. Жак. – М.: Машиностроение, 1995. – 125 с.
6. Технологические параметры аглопроцесса при использовании мелочи нефтяного кокса / Н.П. Сысоев и др. // Сталь. – 2005. – № 5. – С. 8, 9.

УДК 658: 622.27

И.Ф. Селянин, А.В. Феоктистов, С.А. Бедарев

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

## ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ВАГРАНОЧНОГО ПРОЦЕССА ПУТЕМ ОБОГАЩЕНИЯ ДУТЬЯ КИСЛОРОДОМ

В работе рассмотрены основные факторы ваграночного процесса, влияющие на температуру выпускаемого чугуна при увеличении содержания кислорода в дутье. Определены оптимальные концентрации кислорода, приводящие к повышению температуры чугуна на выпуске.

In work major factors cupola process, which influencing on temperature of let out iron are considered at increase in the maintenance of oxygen in blasting. The optimum concentration of oxygen resulting in rise in temperature on release is iron determined

Вопросу целесообразности применения кислорода в ваграночном процессе посвящено много исследований [1,2]. Л.И. Леви [1] считает, что использование кислорода во всех интервалах добавки ведет к повышению температуры чугуна, уменьшению угара элементов. Н.Г. Гиршович [2] после тщательного анализа интенсификации процесса путем добавки кислорода в дутье, утверждает, что это приведет, наоборот, к падению температуры чугуна при незначительном скачке температуры на 30-40 °С на начальном этапе вдувания (15-20 мин).

Для выявления факторов ваграночного процесса, которые существенно влияют на температуру выпускаемого чугуна при увеличении содержания кислорода в дутье, были проведены целенаправленные промышленные испытания.

Опыты по применению кислорода проводили на вагранке диаметром 700 мм. Расход кокса был на уровне 13-14 %, шихта состояла из чушкового чугуна, боя изложниц и стального лома. Вагранка оборудована поршневым вентилятором Рута производительностью  $Q = 44 \text{ м}^3/\text{мин}$  с давлением  $P = 800 \text{ мм. вод. ст.}$ , давление в фурменной коробке составляло 750 мм. вод. ст.

Температуру чугуна замеряли в ковше платиноплатинородиевыми термопарами одноразового пользования, запись

велась самопишущим прибором. Кислород отбирался от магистрального трубопровода, который подавался в печь через четыре фурмы первого ряда в количестве до 30 м<sup>3</sup>/т, или до 25 % в дутье. Анализировались состав отходящих газов, составы чугуна и шлака. Кислород давался в печь через трубки из нержавеющей стали диаметром 20 мм. Трубка соединялась с магистралью через гибкий шланг, на выходе из которого был установлен манометр для измерения давления кислорода в магистрали. Расход кислорода определялся по перепаду давления

$$\Delta P = P_1 - P_2, \quad (1)$$

где  $P_1$  – давление кислорода в точке установки манометра на входном конце трубки;

$P_2$  – давление воздуха на срезе трубки.

Давление газов в вагранке на уровне фурм равнялось  $P_2 = 740$  мм. вод. ст. Поршневой вентилятор дает постоянное давление вне зависимости от сопротивления тракта. Регулирование расхода кислорода осуществлялось вентилем, установленным в конце гибкого шланга.

Система подачи кислорода имеет постоянное поперечное сечение, поэтому будет справедливо соотношение:

$$\Delta P = \xi \frac{V^2}{2g}, \quad (2)$$

где  $V$  – скорость потока кислорода в трубке;  $\xi = \lambda \cdot l / d$  – коэффициент сопротивления;  $l, d$  – длина и диаметр трубки;  $\lambda$  – коэффициент трения.

Для переходного турбулентного режима течения для  $\lambda$  справедлива формула Блазиуса:

$$\lambda = 0,316 \text{Re}^{-0,25}, \quad (3)$$

где  $\text{Re} = Vd / \nu$  – критерий Рейнольдса;  $\nu$  – кинематическая вязкость кислорода.

Подставляя (3) в (2) и делая преобразования, получаем:

$$V = d^{0,715} \left( \frac{2g}{0,316l \cdot \nu^{0,25}} \right)^{0,57} \Delta P^{0,57} \quad (4)$$

Подставляя  $\nu = 20 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с,  $d = 0,02$  м,  $l = 0,3$  м,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>, имеем зависимость  $V = f(\Delta P)$ , удобную для расчетов

$$V = 6,0 \cdot \Delta P^{0,57} \quad (5)$$

По известной скорости потока в одной трубке определяем полный расход кислорода ( $Q_k$ ) через четыре трубки (4 фурмы нижнего ряда):

$$Q_k = \Sigma S \cdot V = \pi d^2 \cdot 6 \cdot \Delta P^{0,57} \quad (6)$$

В таблице приведены расчетные значения скорости потока ( $V$ , м/с), полный расход кислорода через четыре фурмы ( $Q_k$ , м<sup>3</sup>/мин), процентное содержание кислорода в дутье ( $O_2^o$ , %) в зависимости от измеренного значения  $\Delta P$  (Па).

Данная таблица служила основой для непрерывного слежения за величиной  $\Delta O_2^o = (O_2^o - 21)\%$  по измеряемому значению  $\Delta P$  в процессе всего эксперимента.

Таблица – Зависимость расчетных параметров добавки кислорода в ваграночное дутье

$\Delta P$ , Па	40	140	280	460	700	930	1210	1600
$V$ , м/с <sup>2</sup>	3,0	6,0	8,9	11,9	14,9	17,5	20,4	24,3
$Q_k$ , м <sup>3</sup> /мин	2,25	4,5	6,7	9,0	11,2	13,2	15,4	1,80
$O_2^o$ , %	21,5	22,0	22,5	23,0	23,5	24,0	24,5	2,5

Производительность печи определялась по количеству отобранных мерных ковшей в период продувки, время продувки составляло 45-60 мин.

Температура отходящих газов измерялась голым спаем хромель-алюмелевой термопарой при их отборе из общего потока через латунную трубку  $\varnothing 20$  мм. Замеры осуществлялись на уровне завалочного окна. Первый опыт проводился при содержании 25 % кислорода в дутье.

Анализ диаграммной записи температуры чугуна (рисунок) показывает, что в начальный период подачи кислорода температура чугуна повысилась с 1340-1350 °С до 1380-1390 °С. Наибольшая температура 1390 °С была достигнута через 10 минут после начала продувки. На третьем и четвертом замере через 15 и 20 минут после начала эксперимента температура чугуна уже составляла 1350-1360 °С, затем с увеличением времени продувки температура чугуна резко упала до 1250 °С и в последующем стабилизировалась на уровне 1300 – 1320 °С и через 45 мин первый эксперимент был прекращен.



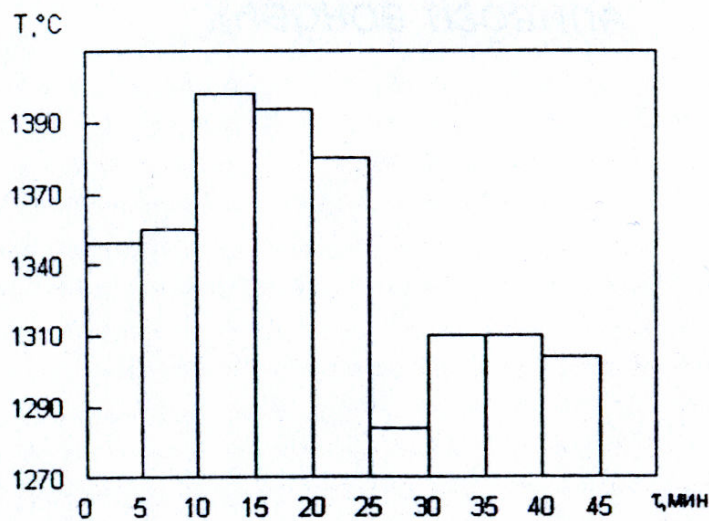


Рисунок – Изменение температуры металла в период подачи кислорода в дутье вагранки

Несмотря на более низкую температуру чугуна, производительность печи увеличилась. Емкость разливочных ковшей составляла 250 кг. Всего было отобрано 12 ковшей, в режимных условиях работы цеха за 45 минут с экспериментальной вагранки отбирается 10 ковшей. Увеличение производительности печи с ростом содержания кислорода в дутье с 21 до 25 % составило 20 %.

Таким образом, обогащение ваграночного дутья кислородом до 25 % приводит к повышению температуры чугуна на 30-40 °С в течение 10-15 мин от начала вдувания. При дальнейшем увеличении времени подачи кислорода температура чугуна уменьшается и устанавливается на 30-40 ° ниже базового уровня. Производительность печи всегда остается выше базовой. Дутье, обогащенное кислородом до 25 %, дает прирост производительности печи на 18-20 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леви Л.И. Кислород в процессах получения чугуна / Л.И. Леви. – М.: Машгиз, 1955. – 268 с.
2. Гиршович Н.Г. Прогрессивные процессы в литейном производстве / Н.Г. Гиршович, А.Я. Иоффе. ЛД НТП, 1956. – 254 с.

УДК 621.746

В.Б. Деев, В.А. Дегтярь, И.Ф. Селянин

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

## КОМПЛЕКСНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ

Описывается многофункциональное устройство, совмещающее метод термического анализа и метод термоэдс. Данное устройство позволяет комплексно исследовать процесс формирования структуры сплава и управлять уровнем его эксплуатационных свойств за счет контроля и регулирования параметров плавки и литья.

It is described multifunctional device, combining method of the thermal analysis and method thermoEDS. Given device allows complex to research the process of the shaping the structure of the alloy and control the level its working characteristic to account of the checking and regulations parameter swimming trunks and casting.

Методы анализа качества сплавов в процессе их приготовления имеют огромное значение в условиях современной металлургии и литейного производства. Существуют разнообразные методики, позволяющие в той или иной степени оценивать химический состав, свойства сплавов в жидком и твердом состояниях, влияние примесей и т.д. Недостатком большинства способов контроля является технологическая длительность, что обуславливает их применение только в лабораторных научно-исследовательских целях. В промышленности, как правило, используются методы количественного контроля химического состава и содержания газовых и неметаллических примесей, а также различные технологические пробы для определения эксплуатационных и литейных свойств, степени модифицирования сплавов и т.д.

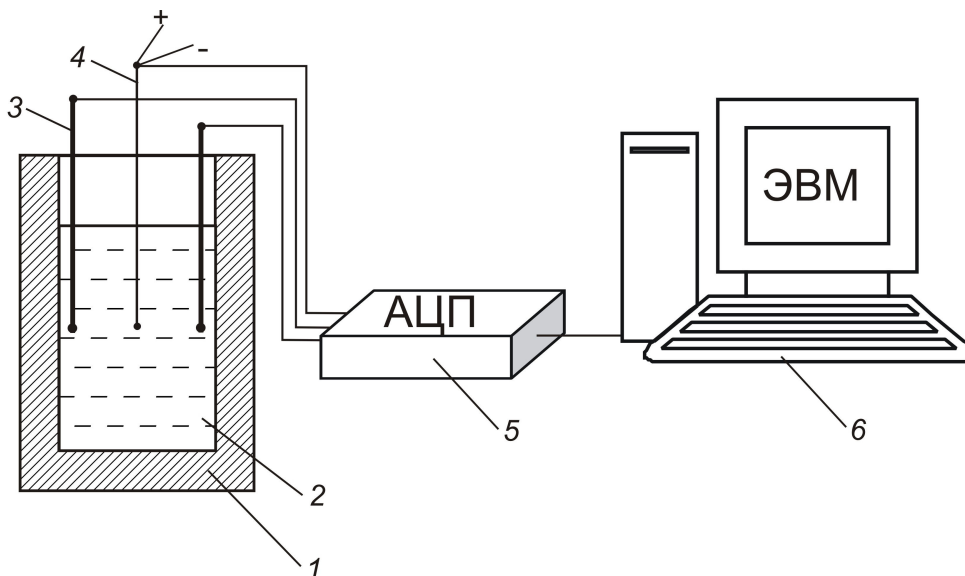
В последние десятилетия для оценки качества получаемых сплавов широкое распространение имеет метод термического анализа [1, 2]. Однако очень часто получаемая с помощью данного метода информация может являться недостаточной для решения вопросов, связанных с управлением свойствами сплава посредством изменения хи-

мического состава, интенсификации процессов модифицирования и рафинирования расплавов.

В связи с этим, огромный интерес представляет метод исследования термоэдс сплавов [3], который является достаточно чувствительным к малейшим изменениям химического состава и содержанию примесей в расплаве. Представляется целесообразным совместить оба этих метода и исследовать термическую кривую охлаждения и кривую термоэдс сплава одновременно с металла одной пробы.

На кафедре литейного производства СибГИУ разработано многофункциональное устройство, позволяющее оценивать структурные изменения в процессе кристаллизации сплавов, обусловленные воздействием различных технологических факторов. Для этого в устройство вводится блок измерения термоэдс, состоящий из двух медных электродов, погружаемых в расплав и программного обеспечения для интерпретации получаемых результатов. Разность потенциалов электродов передается на ЭВМ посредством измерительного модуля. Таким образом, общая схема устройства включает в себя: тигель (пробник) 1; хромель-алюмелевую термопару 4; два медных электрода (диам. 7 мм) 3; ЭВМ – Pentium IV 6; измерительный модуль 5, состоящий из 24-битового аналого-цифрового преобразователя ICP CON 7018, обеспечивающего 16-битовую точность и преобразователя промышленного интерфейса (RS485) в последовательный интерфейс (RS232 – com port) ICP CON 7520, обеспечивающего подключение к стандартному последовательному порту ЭВМ. Сплав в тигле 1 обозначен позицией 2. На рисунке 1 приведена схема многофункционального устройства, включающего: 1 – тигель (пробник); 2 – сплав; 3 – электроды; 4 – термопару; 5 – измерительный модуль; 6 – ЭВМ.

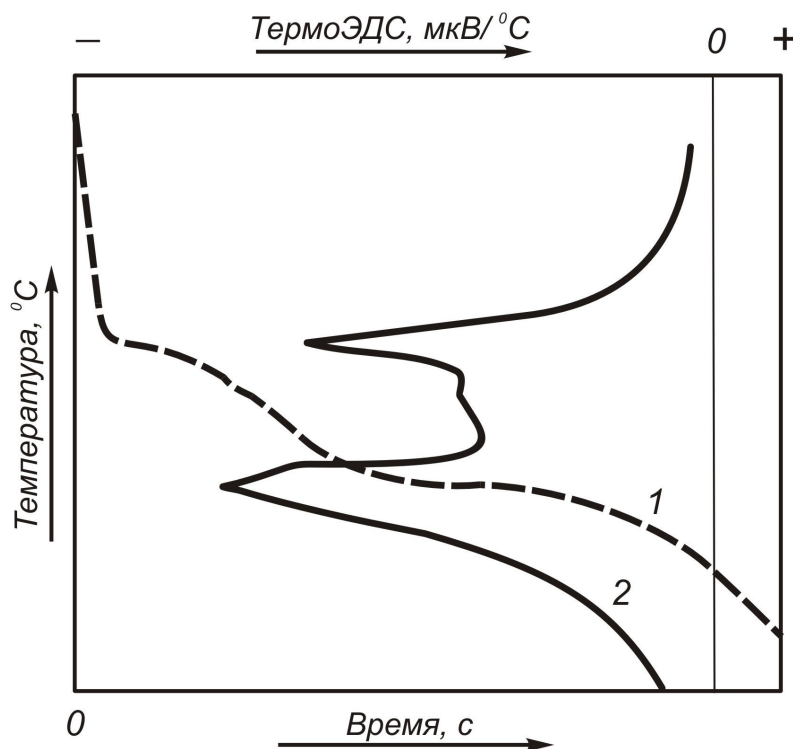
Работает устройство следующим образом. Хромель-алюмелевая термопара измеряет температуру. Разность потенциалов между электродами является функцией температуры и структурных изменений при кристаллизации расплава. Электрические сигналы от хромель-алюмелевой термопары и от электродов поступают в измерительный модуль, обрабатываются, передаются в ЭВМ, с помощью программного обеспечения переводятся в графические зависимости и представляются в виде совмещенных термической кривой охлаждения и кривой термоэдс.



1 – тигель; 2 – сплав; 3 – электроды; 4 – термопара;  
5 – измерительный модуль; 6 – ЭВМ

Рисунок 1 – Устройство для контроля качества сплавов:

На рисунке 2 приведены термическая кривая охлаждения и кривая термоэдс сплава АК7, полученные с помощью описанного выше устройства.



1 – термическая кривая охлаждения; 2 – кривая термоэдс

Рисунок 2 – Совмещенные кривая охлаждения и кривая термоэдс сплава АК7:

Обе кривые показывают кинетику фазовых превращений расплава при кристаллизации и взаимно дополняют друг друга. Совмещение кривых позволяет более точно выяснить влияние химического состава и состояния расплава на его кристаллизацию. Следует отметить, что метод не предусматривает ограничений по материалу литейной формы, тигля или пробы, также нет ограничений по их геометрическим размерам и емкости.

Данное устройство позволяет более достоверно исследовать процесс формирования структуры сплава и управлять его эксплуатационными свойствами за счет контроля и регулирования параметров плавки и литья.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселев С.В. Универсальное устройство для термоанализа сплавов / С.В. Киселев, Г.В. Довнар // Литейное производство. – 2004. – № 3. – С. 27;
2. Рафальский И.В. Термический анализ модельных силуминов с различными модификаторами эвтектики / И.В. Рафальский, Г.В. Довнар, С.В. Киселев // Литейное производство. – 2006. – № 3. – С. 21, 22.
3. Влияние модифицирования на термоэдс сплава АК9ч / И.Ю. Кольчурина, И.Ф. Селянин, В.М. Федотов, В.Б. Деев // Литейщик России. – 2006. – № 10. – С. 28-31.

УДК 669.18.538.911

Е.В. Протопопов, В.В. Соколов\*, Д.Б. Фойгт\*, С.В. Фейлер,  
Л.А. Ганзер

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный  
университет», г. Новокузнецк

\*ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»,  
г. Новокузнецк

## РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ШЛАКООБРАЗУЮЩИХ СМЕСЕЙ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

Рассмотрены особенности использования шлакообразующих смесей для непрерывной разливки стали. Разработаны новые шлакообразующие смеси для слябовой МНЛЗ ОАО «ЗСМК». Показано, что использование новых шлакообразующих смесей обеспечивает высокую технологичность процесса, требуемые эксплуатационные свойства и качество продукции.

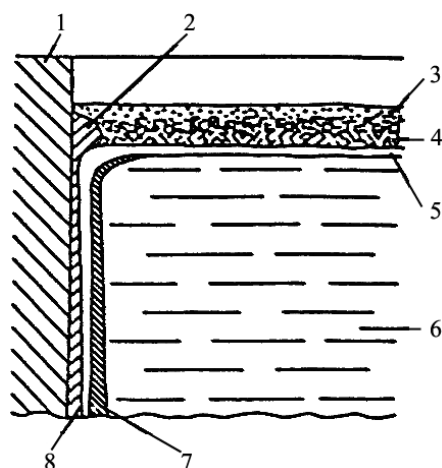
The features of use slag-forming mixes for continuous casting of steel are considered. New slag-forming mixes for slab caster of ОАО «ZSMK» are developed. It is shown, that use new slag-forming mixes provides high adaptability of process, required operational properties and quality of production.

При непрерывной разливке стали применение шлакообразующих смесей для кристаллизаторов и промежуточных ковшей во многом способствует стабильной работе машин и получению качественной продукции. Поэтому теоретическим проработкам, изучению физико-химических свойств твердых шлакообразующих смесей (ШОС) и их расплавов различного назначения и специализации, вопросам использования различных исходных природных и искусственных материалов для изготовления ШОС уделяется постоянное и значительное внимание.

Шлакообразующие смеси в промежуточных ковшах МНЛЗ выполняют несколько важных функций: защиту от поглощения азота и вторичного окисления металла кислородом воздуха, ассимиляцию всплывающих неметаллических включений и уменьшение тепловых потерь металла в процессе разливки. Для этого шлаковый расплав должен обладать определенным набором физико-химических свойств, таких как температура плавления и растекания, скорость растекания,

поверхностное натяжение и т.д. Кроме того, шлаки, применяемые в промежуточных ковшах, должны быть достаточно вязкими, чтобы исключить увлечение шлакового расплава потоками металла и попадание его в кристаллизатор, а также довольно-таки нейтральными по отношению к огнеупорной кладке. Шлаки находятся в промежуточных ковшах в течение длительного времени, поэтому важным является их способность сохранять свои физико-химические свойства на всем протяжении разливки серии плавов.

Поведение шлакообразующей смеси в кристаллизаторе представлено на рисунке.



- 1 – кристаллизатор; 2 – затвердевший шлак; 3 – порошкообразный слой; 4 – зона спекания; 5 – жидкий шлак; 6 – жидкая сталь; 7 – затвердевшая корка стали; 8 – затвердевший шлак

Рисунок – Поведение шлакообразующей смеси и жидкого шлака в кристаллизаторе

Механизм работы шлакового покрытия в кристаллизаторе в общем виде следующий: при подаче шлакообразующей смеси на поверхность зеркала металла образуется слой жидкого шлака, зона спекания и порошкообразный слой. Равномерно распределяясь по зеркалу металла в кристаллизаторе, смесь обеспечивает тепловую изоляцию металлического расплава, предотвращает вторичное окисление при контакте металла с атмосферой и, имея достаточную «емкость», ассимилирует всплывающие неметаллические включения. Жидкий шлак в процессе возвратно-поступательного движения кристаллизатора, проникая в зазор, уменьшает трение между слитком и стенкой кристаллизатора и оптимизирует теплофизические процессы при затвердевании металла. Израсходованная смесь восполняется «свежей» [1].

Шлакообразующие смеси обычно производятся централизованно специализированными фирмами или металлургическими предприятиями для своих нужд. Использование собственных ШОС позволяет снизить себестоимость продукции, не зависеть от сторонних поставщиков и более гибко реагировать на потребности в определенных марках смеси для требуемого сортамента разливаемой стали.

По технологии изготовления шлакообразующие смеси для защиты металла в кристаллизаторе разделяют на материалы, полученные смешиванием порошкообразных ингредиентов и на смеси, основой которых являются порошки из сплавленных шлаков. Наиболее простым является способ изготовления порошкообразных смесей, при котором компоненты дозируют и смешивают, а расфасовывают уже готовую смесь. При составлении смесей обычно используют материалы, которые в порошкообразном виде производят другие предприятия для различных областей народного хозяйства, а также отходы металлургического производства.

Все известные защитные смеси, применяемые при разливке стали можно разделить на три группы. Основу шлаковых расплавов смесей первой, второй и третьей групп составляют, соответственно, тройные системы  $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--FeO}$ ,  $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--Na}_2\text{O}$  и  $\text{CaO--SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3$  [2]. В качестве флюсующих добавок в составе смесей содержатся соединения фтора и бора, оксиды железа, марганца, натрия или калия. Все смеси содержат также углеродистые материалы, которые в отдельных теплоизолирующих смесях составляют основу.

Для разливки на МНЛЗ практически всех марок стали можно использовать смеси, образующие расплавы на основе  $\text{CaO--SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3$ , при этом, как показал опыт, обеспечивается стабильность процесса разливки как слябовых, так блюмовых и сортовых заготовок.

При выборе компонентного состава шлакообразующих смесей следует исходить из следующих критериев:

- обеспечение необходимых физико-химических свойств готовых ШОС и их расплавов;
- снижение затрат на приобретение и предварительную подготовку исходных материалов (дробление, сушка, помол) и на изготовление смеси;
- использование известных компонентов, применяемых для изготовления ШОС.

Так, на ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат» в качестве исходных материалов для изготовления шлакообразующих смесей используются пылевидные отходы, в основном, местных про-



мышленных предприятий. Это дешевые и не требующие предварительной подготовки материалы: пыль газоочистки производства алюминия и аспирации извести; пыль газоочистки производства ферросилиция; шлак феррохромовый самораспадающийся сепарированный; графит скрытокристаллический. В результате теоретического анализа и лабораторных исследований химического и фракционного состава, влажности и насыпной объемной массы составляющих, температуры плавления и растекания ШОС, вязкости шлаковых расплавов были разработаны порошкообразные смеси [3] для непрерывной разливки спокойной углеродистой, низколегированной и легированной стали (сечение заготовки 150x150 и 150x200 мм, скорость разливки 2,5-3,0 м/мин), которые в настоящее время используются на восьмиручевой сортовой МНЛЗ фирмы-производителя «Даниели». Химический состав ШОС представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав ШОС ОАО «ЗСМК» для сортовой МНЛЗ

Марка ШОС	Назначение	Массовая доля, %						Основность, CaO/SiO <sub>2</sub>
		SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	F	C	
КМ1	Кристаллизатор, 150x150 мм	28÷34	26÷34	6÷11	Более 3,5	Более 3	10÷17	0,90÷1,00
КМ2	Кристаллизатор, 150x200 мм	28÷32	24÷30	6÷10	Более 3,0	Более 3	20÷26	0,85÷0,95
ПК	Промежуточный ковш	45÷50	24÷30	1÷7	Более 2,5	1÷3	7÷15	0,45÷0,60

Насыпная плотность смеси, т/м<sup>3</sup>: КМ1 – 0,45-0,60; КМ2 – 0,50-0,60, ПК – 0,45-0,60. Влажность аналитическая (поглощенная), % – до 1,0. Рекомендуемый удельный расход – 0,4-0,5 кг/т.

С вводом в эксплуатацию 2-ручевой слябовой МНЛЗ фирмы ФЕСТ-АЛЬПИНЕ Индустрианлагенбау (ФАИ) возникла необходимость разработки недорогих шлакообразующих смесей, которые бы не уступали по качеству импортным, используемым в настоящее время.

Что касается шлакообразующих смесей для сортовой МНЛЗ, то они не могут обеспечить необходимые физико-химические свойства шлаковых расплавов для разливаемой слябовой заготовки сечением 200(250)×1050-1750 мм при скорости разливки 1,3-1,8 м/мин. Необходимо также отметить, что марочный сортамент слябовой МНЛЗ включает перитектические и низкоуглеродистые стали, для разливки которых требуются специальные составы ШОС.

Для изготовления шлакообразующих смесей для слябовой МНЛЗ были предложены следующие компоненты: графит скрытокристаллический, пыль газоочистки производства алюминия и аспирации извести, пыль газоочистки производства ферросилиция, а также дополнительно сода кальцинированная и плавиковый шпат. Химический состав этих материалов приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав компонентов ШОС

Исходные материалы	Химический состав (массовая доля, %)						
	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	F	C
Графит скрытокристаллический (аморфный) марок ГЛС-2, 3 (Г)	Зольность 17÷22 %						75
Пыль газоочистки производства алюминия (П-Ал)	до 3	до 2	до 2	25÷4 5	8÷16	12÷22	20÷40 (смол. 15÷30)
Известковая пыль с фильтров аспирации пр-ва извести (П-изв)	75÷90	до 2	до 8	до 2	до 1	-	до 1
Микрокремнезем конденсированный (пыль газоочистки производства FeSi) МК-85 (П-ФС)	до 3	-	≥ 85	-	до 4	до 1	до 1
Сода кальцинированная	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> – 99,5						
Плавиковый шпат	-	-	15÷30	-	-	CaF <sub>2</sub> 55÷75	-

В результате лабораторных исследований физико-химических свойств исходных материалов и требований к параметрам шлаковых расплавов были разработаны и в дальнейшем изготовлены лабораторные партии порошкообразных ШОС, компонентный и химический состав которых представлен в таблицах 3 и 4 соответственно.

Опытно-промышленные испытания разработанных составов шлакообразующих смесей проводились при разливке стали наиболее массового производства – углеродистой легированной алюминием в пределах 0,02÷0,08 % типа «Ю» на слябовые заготовки толщиной 200 и 250 мм.

Таблица 3 – Компонентный состав ШОС

Назначение ШОС (для групп стали)		Доля компонентов, %						
		П-ФС	П-Изв	П-Ал	Пл. шпат	Сода	Графит	
Стартовая		32÷35	14÷18	4÷7	25÷29	11÷16	-	
Низкоуглеродистая	Н-1	23÷27	20÷24	15÷18	12÷16	14÷17	2÷4	
	Н-2	26÷30	24÷28	15÷18	14÷17	12÷16	-	
Перитектическая	П-1	24÷29	21÷25	13÷16	17÷20	15÷19	3÷5	
	П-2	19÷23	24÷28	7÷10	24÷27	11÷14	6÷8	
Среднеуглеродистая		27÷31	22÷26	13÷16	23÷26	7÷10	6÷8	
ПК	Основная		18÷21	31÷36	12÷16	9÷12	10÷13	9÷11
	Кислая	К-1	30÷33	17÷20	12÷15	6÷9	10÷13	17÷19
		К-2	39÷43	29÷33	6÷10	2÷5	4÷7	8÷10

Таблица 4 – Химический состав шлакообразующих смесей

Назначение ШОС (для групп стали)		Химический состав ШОС, %							
		CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	F	C	$\frac{CaO}{SiO_2}$	
Стартовая		29÷35	36÷44	2÷5	6÷9	9÷11	1÷3	0,65÷0,95	
Низкоуглероди- стая	Н-1	18÷25	29÷36	4÷7	6÷8	9÷10	4÷8	0,5÷0,8	
	Н-2	27÷35	30÷35	4÷7	7÷9	6÷8	9÷10	0,9÷1,2	
Перитектиче- ская	П-1	35÷41	31÷37	2÷6	5÷8	7÷9	6÷8	1,1÷1,3	
	П-2	28÷34	27÷33	3÷7	7÷9	6÷9	7÷10	0,9÷1,2	
Среднеуглеродистая		27÷36	30÷39	6÷10	3÷7	8÷10	4÷9	0,7÷1,2	
Высокоуглеродистая		23÷31	31÷37	2÷6	7÷11	6÷12	3÷7	0,7÷1,0	
ПК	Основная		38÷46	24÷32	4÷7	6÷9	3÷6	9÷14	1,4÷1,9
	Кислая	К-1	17÷25	25÷32	5÷8	5÷8	2÷5	12÷19	0,5÷0,9
		К-2	25÷30	40÷45	1÷7	2÷5	1÷4	8÷18	0,6÷0,8

ШОС для промежуточных ковшей присаживали на первой плавке в серии из 10-12 плавков в количестве 180-200 кг на поверхность металла в начале заполнения промежуточного ковша; на следующих плавках в серии (через одну, и на последних двух) добавляли отдельными порциями по 15-25 кг. Общий расход ШОС на серию в среднем составил 283 кг или около 0,1 кг/т стали.

При испытаниях смесей для кристаллизаторов на одном ручье использовали разработанные составы ШОС, а на другом присаживали импортные шлаковые смеси. Стартовую ШОС подавали вручную в начале первой плавки в серии на поверхность металла по наполнении кристаллизатора в количестве 10-20 кг на ручей; рабочие смеси – далее, после стартовой, периодически порциями по ходу разливки. Удельный расход опытных рабочих ШОС в среднем составил 0,61-0,69 кг/т стали, импортных – 0,51-0,57 кг/т.

Опытно-промышленные испытания кислых смесей для промежуточных ковшей показали удовлетворительные результаты. При этом у смеси К-1 показатели были несколько ниже, чем у смеси К-2

по технологичности процесса и теплоизоляции стали, но они незначительно уступали импортным двухслойным (Glutin Slag sam и Glutin RS-10). Комкования, спекания порошков на «зеркале» металла не было, смеси расплавились и быстро растекались по поверхности металла, закрывая его полностью плотным слоем. Теплотери металла в процессе разливки плавков находились на уровне импортных смесей (5-19 °С за плавку, средние – 7,9 °С) и составили: К-1 – в пределах 6-19 °С, средние – 8,9 °С; К-2 – в пределах 4-18 °С, средние – 8,1 °С. Проблем с разливаемостью, затягиванием разливочных стаканов тугоплавкими оксидами алюминия, по сравнению с использованием импортных ШОС, не наблюдалось. Отклонений по химическому составу стали, качеству поверхности, формы и макроструктуры непрерывнолитых слябов, а также науглероживания металла не было.

Основная смесь для промежуточных ковшей в начале разливки первой плавки в серии комковалась и спекалась, локально оголяя «зеркало» металла, что сопровождалось снижением разливаемости. Затем, по мере расплавления смеси, ситуация улучшалась, достигая уровня кислых ШОС по всем показателям;

Результаты испытаний стартовой ШОС для кристаллизаторов показали отсутствие принципиальной разницы с импортными ШОС по технологичности процесса, поведению расплава в кристаллизаторе, аварийности и качеству продукции.

При использовании ШОС Н-1 для низкоуглеродистой стали характеристики по технологичности процесса, эксплуатационным свойствам и качеству продукции были несколько ниже, чем у Н-2 (следы качания на непрерывнолитых слябах были глубже, хотя и не выходили за пределы допусков). Смесь Н-2 обеспечивала удовлетворительные результаты по всем показателям, принципиально не отличаясь от импортных ШОС. Откорректированный состав смеси П-2 для перитектической стали показал несколько лучшие, относительно смеси П-1, и сравнимые с импортными ШОС, результаты по всем показателям, как и ШОС для среднеуглеродистой стали.

В целом, опытно-промышленные испытания разработанных составов порошкообразных шлакообразующих смесей для промежуточных ковшей и кристаллизаторов слябовой МНЛЗ, показали удовлетворительные результаты при разливке углеродистой стали типа «Ю» по технологичности применения, поведению на поверхности металла, эксплуатационным свойствам (стабилизации шлакового режима, тепло- и газоизоляции «зеркала» металла, ассимиляции неметаллических включений, смазке кристаллизатора), удельным расходам, безаварий-

ности работы машины и качеству продукции, с показателями. Разработанные смеси не уступают по своим показателям импортным, и могут использоваться для разливаемого сортамента на слябовой МНЛЗ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Процессы непрерывной разливки: Монография / А.Н. Смирнов и др. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 536 с.
2. Лейтес А.В. Защита стали в процессе непрерывной разливки / А.В. Лейтес. – М.: Металлургия, 1984. – 200 с.
3. Освоение производства шлакообразующих смесей для непрерывной разливки стали в ОАО ЗСМК / В.В. Соколов, Д.Б. Фойгт, И.А. Журавлев, В.В. Липень, А.В. Худяков // Сталь. – 2004. – № 9. – С. 20-21.

УДК [669.017:539.52]:620.162.3

В.Г. Кондратьев, Н.В. Котова, Ю.В. Кутукова

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛЕЙ МЕТОДОМ СКРУЧИВАНИЯ

В статье представлены результаты определения прочностных характеристик сталей марок Ст3, 20Х23Н18, 12Х18Н9 и 20Х21Н5Т с применением метода скручивания. В результате получены данные по сопротивлению деформации сталей при температурно-скоростных условиях, соответствующих реальным процессам горячей обработки металлов давлением.

In the article the outcomes of determination strength of the characteristics steel of the marks st3, 20Cr23Ni18, 12Cr18Ni9 and 20Cr21Ni5Ti with application of a method of torsion are shown. In an outcome the data on resistance to deformation steel are obtained under temperature-fast-track conditions appropriate to actual processes of hot processing of metals by pressure.

При обработке металлов давлением необходимо знать сопротивления деформации сталей, из которых изготовлены конструкции. Это позволяет рассчитать основные узлы оборудования на прочность и назначить такие режимы обжатия, при которых в полной мере используются возможности оборудования.

Прочностные характеристики обычно получают при так называемых статических испытаниях. Последние характеризуются низкой скоростью деформации ( $3 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-2}$  1/сек) и комнатной температурой. Поэтому непосредственное использование данных, полученных при статических испытаниях, при расчете высокоскоростных и высокотемпературных процессов обработки металлов давлением приводят к значительным ошибкам.

Наиболее значимыми факторами, влияющими на сопротивление деформации, являются скорость деформации и температура. Скоростной интервал обработки металлов давлением очень широк. От  $3 \cdot 10^{-2}$  1/сек на гидравлических прессах до  $10^2$  1/сек на молотах и при непрерывной прокатке. Усредненный температурный интервал горячей обработки металлов давлением 900–1200°C.

Из сказанного следует, что при разработке технологических процессов обработки металлов давлением следует использовать данные по сопротивлению деформации, полученные при температурно-скоростных условиях, соответствующих реальным процессам такой обработки.

Существующие стандартные испытательные машины позволяют проводить испытания на определение сопротивления деформации металлов только при малых скоростях деформации и комнатной температуре. Поэтому была сконструирована и изготовлена машина для испытаний на скручивание с изменением скорости скручивания от 67 до 3000 об/мин. При этом особенность конструкции машины позволяет скручивать образцы при строго фиксированной скорости. Машина оборудована нагревательной печью, в которой непосредственно и происходит скручивание образцов.

При скручивании в качестве прочностной характеристики металла фиксировался крутящий момент, необходимый для деформации образца. Для записи крутящего момента использовался специальный сигнал рабочего датчика машины, который фиксировался на осциллографе.

Испытания проводились в интервале скоростей деформации от 67 до 3000 об/мин (от  $1,7 \cdot 10^{-1}$  до  $10^1$  1/сек), температурный интервал исследования – от 900 до 1200 °С через каждые 100 °С. Образцы пятикратные – диаметр 6 мм, длина рабочей части 30 мм. В качестве исследуемого материала использовались: углеродистая сталь Ст3, легированные стали 20Х23Н18, 12Х18Н9 и 20Х21Н5Т.

Результаты испытания представлены на рисунках 1–3.

У сталей Ст3, 08Х18Н10Т при температуре 1200 °С максимальный крутящий момент достигается при скорости скручивания 1500 об/мин. Дальнейшее повышение скорости скручивания момент скручивания не повышает, он остается постоянным. При температурах 1100°, 1000° и 900° значительное повышение момента скручивания наблюдается до 1500 об/мин, дальнейшее повышение скорости скручивания увеличивает момент скручивания менее значительно. Однако предела упрочнения не наступает даже при скорости скручивания 3000 об/мин.

У сталей 20Х21Н5Т, 20Х23Н18, 12Х18Н9 предел упрочнения не наступает ни при какой скорости испытания. Упрочнение с увеличением скорости испытания наблюдается при всех температурах испытания (рисунки 3,4,5). Однако характер упрочнения для разных температур разный. Так, у Ст3 при изменении скорости от 18 до 3000 об/мин при температуре 1200 °С момент скручивания изменяется от 12 до 18 кг·м, т.е. на 30 %, а при температуре 900°С от 32 до 57 кг·м, т.е. почти в 2 раза. Такая же картина наблюдается и на других марках стали.

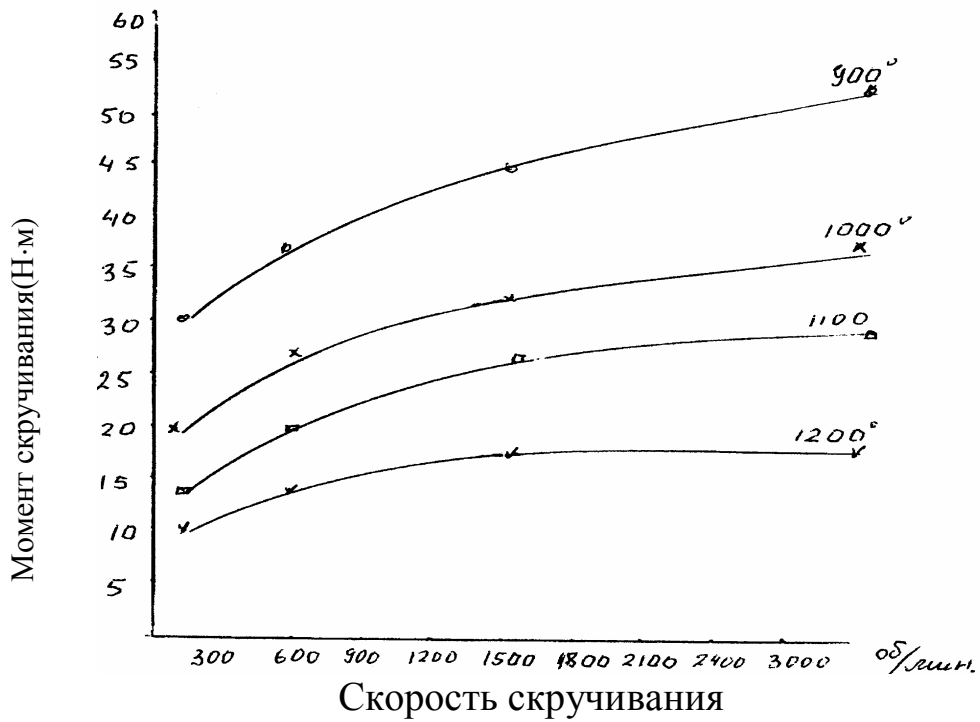


Рисунок 1 – Зависимость момента скручивания от скорости скручивания и температуры у стали Ст3

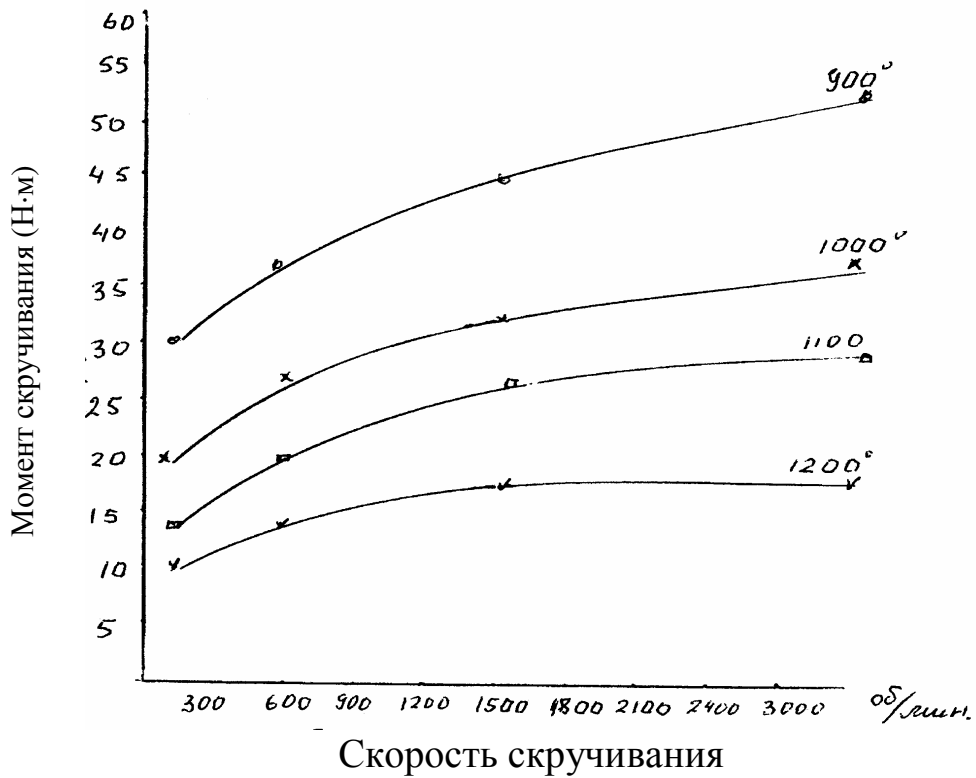


Рисунок 2 – Зависимость момента скручивания от скорости скручивания и температуры у стали 12X18H9



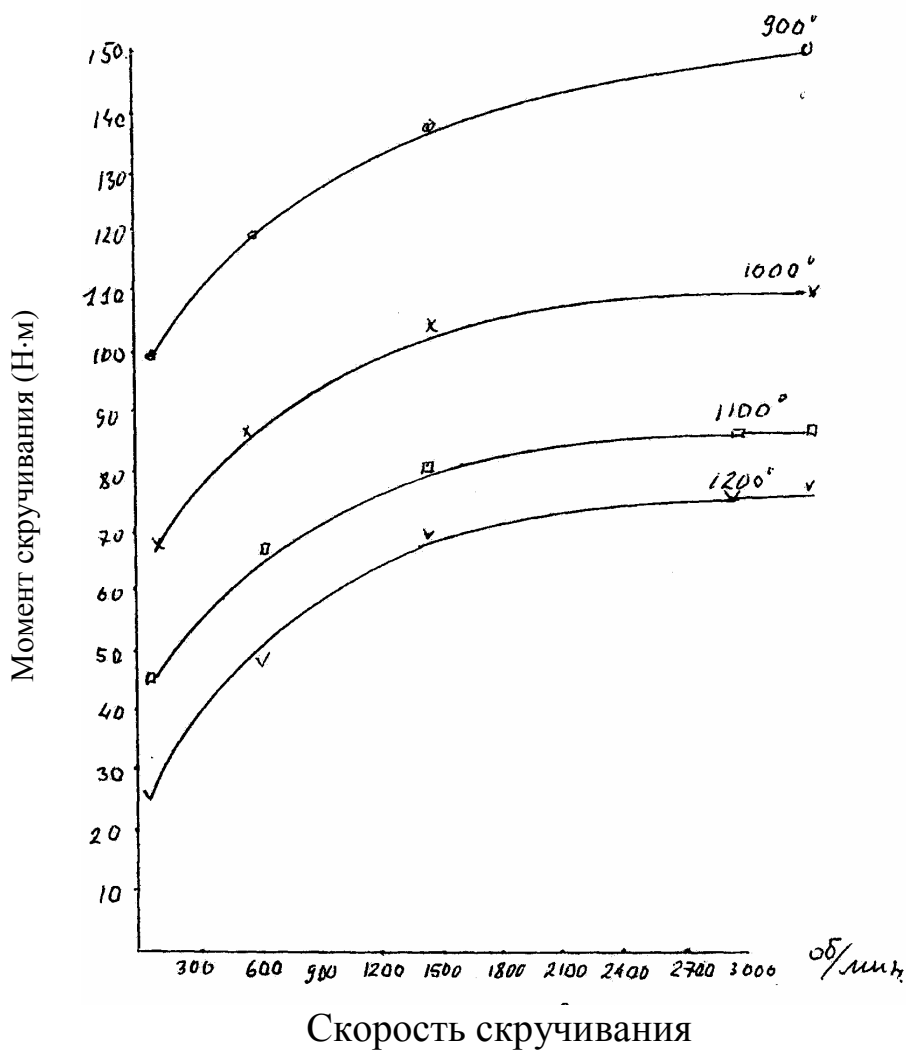


Рисунок 3 – Зависимость момента скручивания от скорости скручивания и температуры у стали 20X23H18

Момент скручивания легко просчитывается на сопротивление деформации

$$\sigma_{\varepsilon} = \frac{12 \sqrt{3} M_{кр}}{\pi d_0^3} = 6,6 \frac{M_{кр}}{d^3};$$

где  $M_{кр}$  – момент скручивания (н · м);  $d_0$  – исходный диаметр образца.

Таким образом получены данные по сопротивлению деформации для углеродистых сталей Ст3 и легированных сталей 12X18H9, 20X23H18, 08X18H10T при температурно-скоростных условиях, соответствующих реальным процессам горячей обработки металлов давлением.

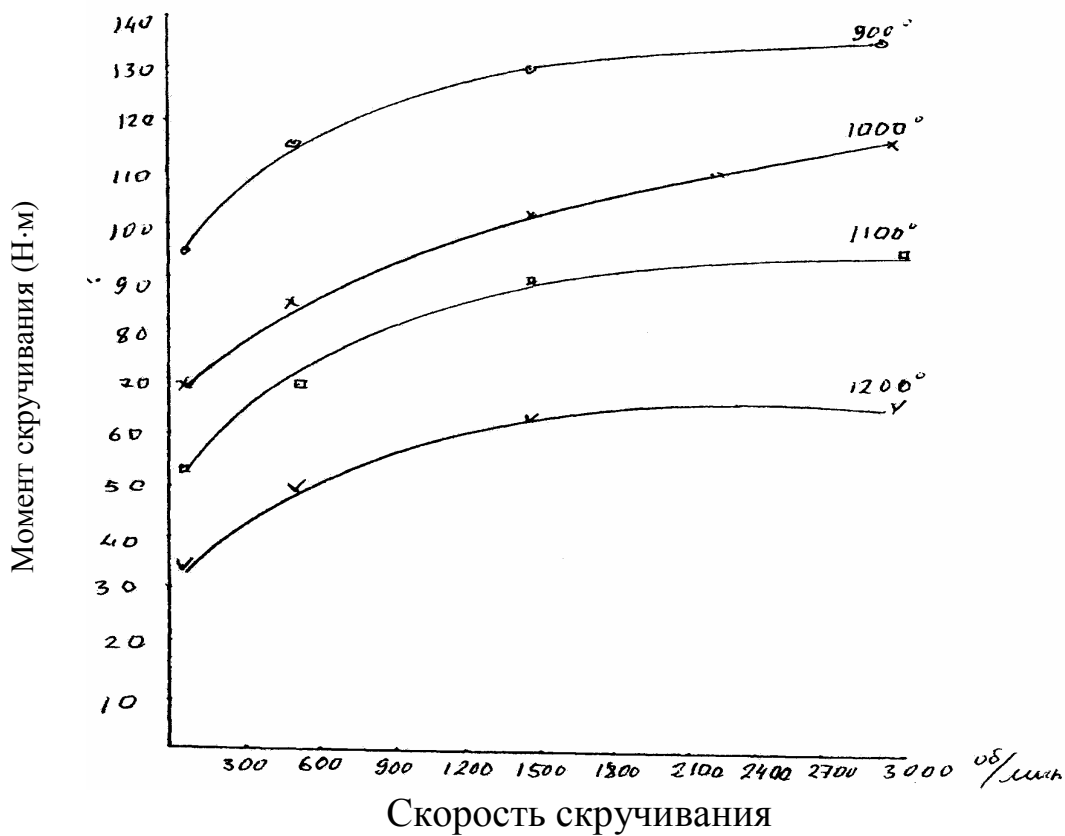


Рисунок 4 – Зависимость момента скручивания от скорости скручивания и температуры у стали 08X18H10T

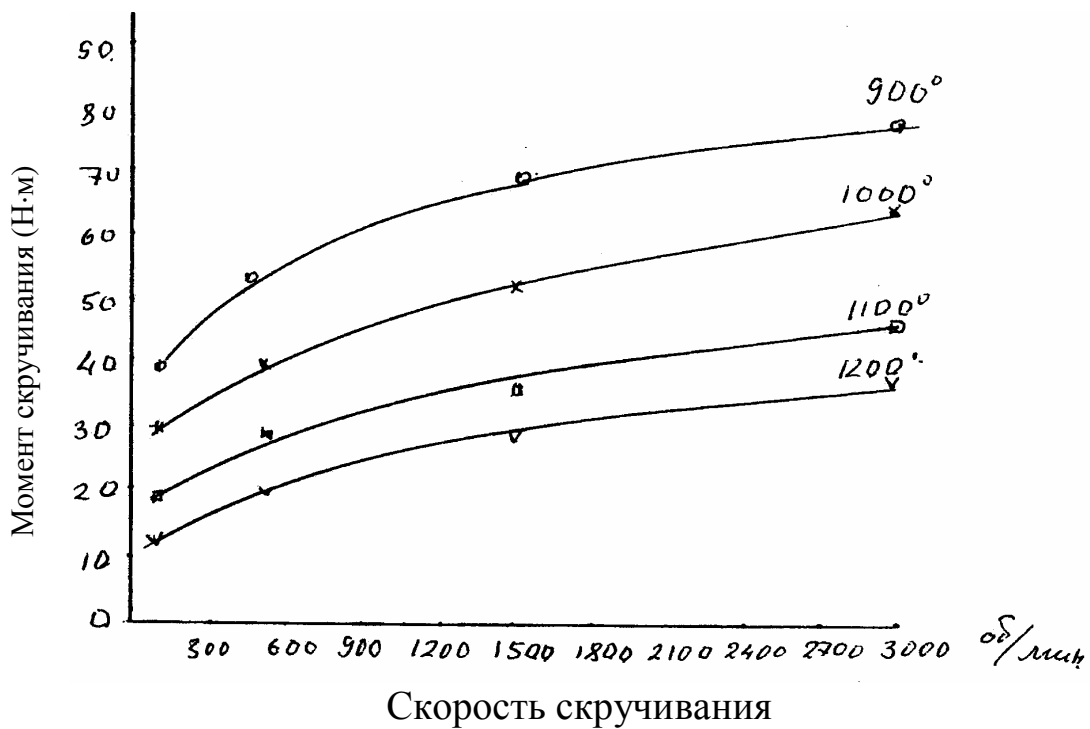


Рисунок 5 – Зависимость момента скручивания от скорости скручивания и температуры у стали 20X21H5T

# **ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

УДК 669.046.558.28

В.В. Руднева

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕЗА КОНСТРУКЦИОННОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ КАРБИДИЗАЦИЕЙ ПОРОШКООБРАЗНОГО КРЕМНИЯ УГЛЕВОДОРОДАМИ В ПЛАЗМЕННОМ ПОТОКЕ АЗОТА

В статье представлены результаты исследования плазмометаллургического синтеза нанодисперсного карбида кремния конструкционного назначения карбидизацией порошкообразного кремния углеводородами в плазменном потоке азота.

The results of research connected with plasmametallurgic synthesis of nanodispersion carbide silicon by carbiding powder silicon in plasma flow of azote for structural function is shown in the article.

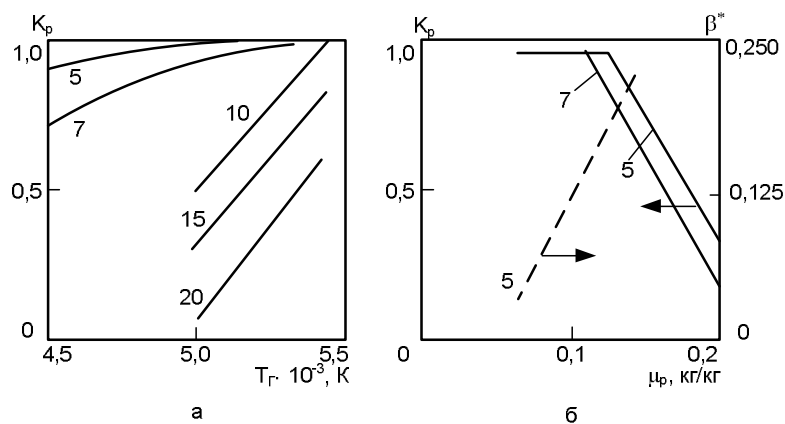
Сведения о получении нанодисперсного (НДП) карбида кремния конструкционного назначения синтезом из кремния немногочисленны. В [1] синтез осуществлен карбидизацией элементарного кремния пропаном в потоке азотной плазмы. Карбид кремния представлен в продуктах фазой  $\beta$ -SiC, но содержание его не превышает 70 % масс., что не удовлетворяет требованиям к материалам конструкционного назначения. В связи с этим для решения поставленной задачи исследовалось влияние параметров синтеза на содержание карбида в продуктах, и определялись их оптимальные значения.

Термодинамический анализ процессов карбидообразования в системах Si – C – N и Si – C – N – H показывает, что наличие в системе водорода позволяет организовать получение конденсированного карбида кремния за счет протекания газофазных реакций в интервале температур 2800-3000 К, в первую очередь взаимодействия парообразного кремния с цианистым водородом. Поскольку степень превращения молекулярного азота в условиях, достигаемых в реакторе, весьма незначительна, целесообразно использовать добавки «активного» азота, например, в виде аммиака. В этом случае 100 %-ная степень превращения кремния в карбид достижима уже при стехиометрическом соотношении компонентов при условии полного перевода исходного сырья в паровую фазу. Последнее накладывает определен-

ные требования к агрегатному состоянию и крупности сырьевых материалов.

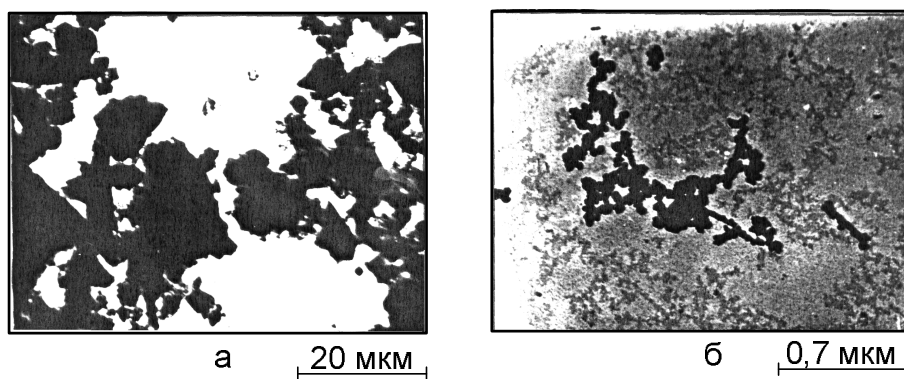
Для снятия кинетических ограничений, связанных с известными трудностями испарения твердых углеродистых материалов, целесообразно в качестве карбидизатора применение газообразных углеводородов, в связи с чем использовался технический пропан. Использование углеводородов позволяет также отказаться от предварительной очистки плазмообразующего газа от кислорода и паров воды.

Определение оптимальной крупности кремнистого материала проводилось по методике, предложенной в [2], основанной на математическом моделировании гидродинамических и энергетических режимов переработки частиц кремния в трехструйном прямоточном реакторе. Анализ результатов численного расчета процессов движения и нагрева частиц кремния, приведенных на рисунке 1, показывает, что рабочие параметры реактора обеспечивают полное испарение частиц кремния крупностью 5-7 мкм при массовой концентрации до 0,12 кг на 1 кг плазмообразующего газа. В связи с этим в работе использовался кремний кристаллический КР 00 ГОСТ 2169-79, подвергнутый сухому размолу в шаровой мельнице до крупности – 5 мкм (рисунок 2).



а – влияние начальной температуры плазменного потока на степень испарения частиц; б – влияние массовой расходной концентрации сырья на степень испарения частиц и долю энергии, переданной частицам ( $N = 39,05$  кВт,  $G_g = 4,6 \cdot 10^{-3}$  кг/с; 5, 7, 10, 15, 20 – крупность частиц кремния, мкм;  $K_p$  – степень испарения;  $\alpha_v$  – степень восстановления;  $\beta^*$  – доля энергии, переданной частицам;  $T_g$  – температура плазмообразующего газа, К;  $\mu_p$  – массовая расходная концентрация, кг сырья на кг плазмообразующего газа;  $N$  – энергия, подводимая к реактору, кВт;  $G_g$  – расход плазмообразующего газа, кг/с)

Рисунок 1 – Энергетические режимы переработки кремния в трехструйном прямоточном реакторе



а – кремний кристаллический; б – карбид кремния, полученный карбидизацией кремния

Рисунок 2 – Микрофотографии порошкообразного кремния и продукта плазменного синтеза

Термодинамический и кинетический анализ исследуемого процесса свидетельствует о его многопараметричности, что определило применение для его экспериментального исследования метода математического планирования эксперимента. Поскольку оптимальные пределы изменения большинства управляющих воздействий прогнозированы при термодинамическом анализе и кинетических исследованиях, то в ходе исследований решалась задача построения интерполяционного управления, описывающего влияние технологических факторов на содержание в продуктах синтеза карбида кремния. В качестве модели выбран неполный квадратичный полином, учитывающий главные эффекты факторов и все двойные взаимодействия. Факторы, влияние которых учитывалось, и интервалы их варьирования приведены в таблице 1.

Для исследуемого процесса реализована полуреплика полного факторного эксперимента  $2^{5-1}$  с генерирующим соотношением  $X_5 = -X_1 X_2 X_3 X_4$  и разрешающей способностью  $-U$ . При этом установлено, что при изменении факторов в соответствии с планом эксперимента фазовый и химический состав продуктов синтеза меняется следующим образом (таблица 2).

Обработка экспериментальных данных проводилась по схеме с равномерным дублированием опытов. Во всех случаях с 95 %-ной степенью вероятности установлена адекватность полученного интерполяционного полинома описываемому процессу синтеза, что свидетельствует об учете всех основных влияющих на процесс факторов.

$$Y = 92,92 + 1,05X_1 + 0,59X_2 + 0,72X_5 + 0,64X_2X_3,$$

где  $Y$  – содержание SiC в продуктах синтеза, % масс.

Таблица 1 – Переменные факторы, выбранные для исследования процесса синтеза карбида кремния карбидизацией порошкообразного кремния

Факторы	Уровни факторов		
	обознач.	верх. (+)	нижн. (-)
Начальная температура плазменного потока, К	X <sub>1</sub>	5600	5200
Температура закалки продуктов синтеза, К	X <sub>2</sub>	2800	2000
Количество карбидизатора от стехиометрически необходимого для образования карбида, %	X <sub>3</sub>	150	100
Концентрация водорода в плазмообразующем газе, % об.	X <sub>4</sub>	25	0
Концентрация атомарного азота в плазмообразующем газе, N (NH <sub>3</sub> )/C(C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ), % от стехиометрии	X <sub>5</sub>	300	100

\* Запыленность потока для всех экспериментов поддерживалась на постоянном уровне 0,1 кг Si на 1 м<sup>3</sup> азота.

Таблица 2 – Фазовый и химический состав продуктов синтеза

Фазовый состав	Содержание основных фаз и примесей, % масс.					
	SiC	Si <sub>своб.</sub>	C <sub>своб.</sub>	O	N	Fe
SiC (β-SiC – 93÷100%, α-SiC – 0÷7%)	91,21- 94,63	4,28- 8,62	2,98- 3,84	0,51- 0,72	1,94- 3,12	0,26- 0,54

Незначимость большинства коэффициентов при двойных взаимодействиях подтверждает правильность выбора границ исследования и интервалов варьирования. Полное уравнение позволяет количественно оценить влияние отдельных факторов на выходной параметр и управлять процессом синтеза. В натуральном выражении факторов интерполяционное уравнение записывается в следующем виде

$$Y = 88,45 + 0,00295T_0 - 0,00537T_3 - 0,154\{C_3H_8\} + 0,0072\{NH_3\} + 0,000064T_3 \cdot \{C_3H_8\},$$

где T<sub>0</sub> – начальная температура плазменного потока, К; T<sub>3</sub> – температура закалки продуктов синтеза, К; {C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>} – количество подаваемого карбидизатора, % от стехиометрии; {NH<sub>3</sub>} – количество подаваемого аммиака, % от стехиометрии.

Анализ регрессионного уравнения и качественная оценка влияния отдельных факторов на состав продуктов синтеза показывает, что содержание карбида кремния является функцией факторов, ответственных за снятие кинетических ограничений, а максимальная величина коэффициента при  $X_1$  ( $T_0$ ) подтверждает лимитирующую роль процесса испарения кремния. Влияние фактора  $X_2$  ( $T_3$ ) на состав синтезируемых продуктов проявляется через газовую фазу: так, с ростом температуры закалки повышается вероятность ограничения процессов конденсации углерода, что приводит к снижению содержания в продуктах свободного углерода и делает возможным синтез карбида при избытке карбидизатора. При этом эффективность карбидизации зависит от концентрации в газовой фазе атомарного азота, поставщиком которого является аммиак (фактор  $X_5$ ). Повышение температуры закалки ограничивает также длительность взаимодействия сформированных частиц карбида кремния с потоком газа-теплоносителя и, как следствие, содержание в них связанного азота. Малая чувствительность процесса к разбавлению газа-теплоносителя водородом обусловлена наличием других источников водорода – углеводородов и аммиака. Оптимальные значения технологических факторов и допустимые пределы их измерения для исследуемого процесса приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Оптимальные значения параметров синтеза карбида кремния

Параметры синтеза	Значение
Состав газа-теплоносителя, % об.	
- азот	70-80
- водород	20-30
Крупность сырья (кремния), мкм	-5
Производительность по сырью, кг/ч	1,92
Количество карбидизатора, % от стехиометрического	120-140
Количество аммиака ( $H_3$ )/C( $C_3H_8$ ), % от стехиометрического	200-300
Начальная температура плазменного потока, К (не менее)	5600
Температура закалки, К	2800-3000

Полученные при этих параметрах синтеза продукты имели дисперсность 0,05-0,06 мкм (рисунок 2, б) и следующий химический и фазовый состав, % масс.:

$SiC$  – 91,81÷94,63 ( $\beta$ - $SiC$  – 95-100 %,  $\alpha$ - $SiC$  II – 0-5 %);



$\text{Si}_{\text{своб.}} - 2,16 \div 5,28;$

$\text{SiO}_2 - 1,21-1,51;$

$\text{C}_{\text{своб.}} - 2,26-2,32;$

$\text{N} - 1,16-1,74;$

$\text{Fe} - 0,23-0,34.$

Можно видеть, что синтез в анализируемых условиях обеспечивает получение материала, пригодного для конструкционной керамики при условии разработки способов рафинирования его от примесей свободного кремния, оксида кремния и железа, а в отдельных случаях – от примеси свободного углерода.

### ВЫВОДЫ

Проведено модельно-математическое и экспериментальное исследование плазменного синтеза карбида кремния карбидизацией кремния крупностью менее 5 мкм техническим пропаном. Установлено, что оптимальными параметрами синтеза при запыленности 0,1 кг Si на 1 м<sup>3</sup> N<sub>2</sub> являются: начальная температура плазменного потока 5600 К; температура закалки 2800-3000 К; количество карбидизатора 120-140 % от стехиометрии; количество аммиака 200-300 % от стехиометрически необходимого для полного перевода углерода карбидизатора в цианистый водород. Полученные при этих условиях продукты синтеза имеют размер частиц 0,05-0,06 мкм и содержат, % масс.: 91,8-94,6 SiC, представленного β-модификацией; 2,1-5,3 Si<sub>своб.</sub>; 1,2-1,5 SiO<sub>2</sub>; 2,2-2,3 C<sub>своб.</sub>; 0,2-0,3 Fe.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Палчевскис Э.А. Образование соединений в системе Si – N – C – H при высоких температурах / Э.А. Палчевскис, И.П. Убеле // Сб. науч. тр. «Синтез и свойства тугоплавких соединений и покрытий». – Рига: «Зинатне», 1983. – С. 165-174.

2. Полях О.А. Плазмометаллургическое производство карбида кремния для композиционного никелирования и хромирования: монография / О.А. Полях, В.В. Руднева; науч. ред. Г.В. Галевский. – М.: Флинта: Наука, 2006. – 188 с.

## **ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ**

УДК 669.295; 548.4

Е.А. Будовских, В.А. Петрунин, В.Я. Целлермаер, В.Е. Громов  
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный  
университет», г. Новокузнецк

## ФОРМИРОВАНИЕ ГРАДИЕНТНЫХ СТРУКТУРНО- ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОМ ЛЕГИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗА И НИКЕЛЯ

В работе теоретически и экспериментально рассмотрены особенности градиентного распределения фаз и дефектной субструктуры поверхностных слоев железа и никеля при электровзрывном легировании различными элементами (углерод, бор, медь и др.) Обсуждается роль градиента температуры в распределении фаз и, в особенности, в распределении дислокаций в оплавленном слое и в зоне термического влияния.

In our article we theoretically and experimentally consider character of the gradient distribution of phases and defect substructures in the surface of the iron and the nikel under electroexplosion modification surface by the some elements (carbon, bor, cuprum etc). We discuss the role of the temperature gradient in the distribution of phases and mainly in the distribution of dislocations in the melted surface and the thermal influence zone.

В настоящей работе мы исследуем и анализируем фазовый состав и дефектную субструктуру поверхностных слоев железа и никеля, подвергнутых электровзрывному легированию (ЭВЛ) различными элементами (углерод, бор, медь, алюминий) в высокоэнергетическом режиме обработки. Основные экспериментальные данные, которыми мы будем пользоваться, изложены в работах [1-8]. При ЭВЛ металлов, в частности железа (стали) и никеля, используют импульсные сверхзвуковые плазменные струи, сформированные продуктами взрывного разрушения проводников [9]. Энергетический режим обработки характеризуется мощностью пучка  $\sim 6 \text{ ГВт/м}^2$ , давлением плазмы в струе  $\sim 10 \text{ МПа}$ , длительностью импульса  $\sim 100 \text{ мкс}$  [1-8]. Материалами взрывааемых проводников являлись: углеграфитовая ткань при науглероживании железа и никеля [1,6], медная фольга – при омеднении железа и никеля [3,7], алюминиевая фольга – при алитировании [5]. При карбоборировании [2,6] железа и никеля, боромедне-

нии железа [4], борировании никеля [8] в зону взрыва вводился порошок аморфного бора. Легирование осуществлялось проплавлением образцов технически чистого железа марки 008ЖР и никеля, причем толщины образцов: для железа (5-30) мм, для никеля – 2 мм, а глубины оплавления: для железа (20-25) мкм, для никеля (30-80) мкм. Опуская в основном анализ рельефа поверхности образца, мы рассмотрим далее только фазовый состав и дефектную субструктуру модифицированного поверхностного слоя.

С точки зрения фазового состава представляется интересным рассмотреть типы фаз, которые находятся в оплавленном слое и в зоне термического влияния, расположенной под оплавленным слоем [1-8]. В особенности нас будет интересовать ярко выраженный градиентный характер распределения фаз, что подчеркивает и наличие нанокристаллических слоев на границе оплавленного слоя и зоны термического влияния (приграничный слой) [1-8].

Наличие же нанокристаллического слоя обусловлено, в свою очередь, высокими скоростями охлаждения [9]. Не менее интересен и градиентный характер распределения дислокационных субструктур (сетки, ячейки, фрагменты, полосы) в обработанном слое, в приграничной области и зоне термического влияния [1-8].

Оплавленный слой в железе и никеле обычно состоит из трех слоев: поверхностного, приповерхностного (основной) и приграничного [1-8]. В зависимости от типов легирования, перечисленных выше, в поверхностном слое содержатся глобулы графита (~100 нм), частицы карбидной фазы  $\text{Fe}_2\text{C}$  ( $\text{Fe}_{20}\text{C}_9$ ) (размер ~ 3 нм), частицы карбида бора  $\text{B}_{13}\text{C}_2$  (~15-20 нм),  $\alpha$  - железо, твердые растворы легирующих элементов: алюминий в железе, углерод в никеле, окислы [1-8]. В следующем в глубину приповерхностном слое сосредоточены мартенситная фаза, прослойки и островки остаточного аустенита ( $\gamma$  - Fe), частицы карбидной фазы  $\text{Fe}_3\text{C}$  ( $\text{Fe}_2\text{C}$ ), бориды железа  $\text{Fe}_2\text{B}$  (30-45 нм), карбобориды  $\text{Fe}_3(\text{B},\text{C})$  (4-8 нм), ячейки кристаллизации меди (~100 нм) и никеля (~300 нм),  $\alpha$ -фаза твердого раствора алюминия в железе, алюминиды и окислы (меди и никеля) [1-8]. В приграничном слое расположена особенно интересная для нас нанокристаллическая структура  $\alpha$ -железа (80-100 нм) и никеля, карбиды и бориды железа и никеля, редко мартенсит и ячейки кристаллизаций [1-8]. Под оплавленным слоем в зоне термического влияния толщиной порядка 10 мкм обнаружена мартенситная структура с прослойками карбидной фазы, аустенитом. Обычно в зоне термического влияния данная фаза (мартенсит) образует первый подслой, сменяемый вторым подслоем с

зеренной структурой (железо и никель) [1-8]. В редких случаях встречаются три подслоя зоны термического влияния. Отметим, что в указанных подслоях встречаются также карбиды и бориды металлов.

Не меньший интерес представляют и градиентные особенности распределения дислокационных субструктур в модифицированных слоях и зоне термического влияния для железа и никеля. Исследования методами дифракционной электронной микроскопии [10] позволили измерить скалярную плотность дислокаций методами [11]. Отметим, что в приповерхностном слое дислокации обнаружены только для железа при алитировании [5], а в основном дислокации сосредоточены в зоне термического влияния [1-5]. У никеля же дислокации обнаружены в приграничном слое [6-8], а также в зоне термического влияния. Наличие у железа дислокаций в оплавленном слое связано, по-видимому, с полиморфными превращениями, которых у никеля нет. В случае науглероживания и карбоборирования железа [1,2], как и в остальных случаях, в зоне термического влияния скалярная плотность дислокаций в двух подслоях изменяется в глубину образца примерно в два раза от  $\rho = 6,4 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-2}$  (сетки, ячейки) до  $\rho = 3,6 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-2}$  (сетки, хаос) [1-5]. При этом в зоне термического влияния мартенситная структура сменяется зеренной [1-4]. В никеле плотность дислокаций изменяется в 1,5-3 раза: от  $\rho = 4 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-2}$  до  $\rho = 3 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-2}$  и от  $\rho = 4,2 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-2}$  до  $\rho = 1,2 \cdot 10^{14} \text{ м}^{-2}$  [6-8]. Прежде чем перейти к количественному рассмотрению проанализированных выше фактов, заметим, что градиент фазового состава и дислокационных субструктур вглубь материала очевидным образом связаны с градиентом температуры, формирующимся в процессе охлаждения обработанных плазмой образцов. Распределение же дислокационных субструктур определяется термонапряжением.

Остановимся коротко на градиентном распределении фаз по оплавленному слою. Хорошо известно, что фазовые превращения в железе (стали) и никеле, протекающие в термодинамически равновесных и неравновесных условиях могут отличаться [12]. Наши условия [1-8] обработки материала по степени неравновесности стоят в одном ряду с методами обработки лазерными, ионными и электронными пучками [13]. Градиентную структуру распределения фаз, т.е. закономерное изменение фазового состава в глубь образца объясняют с помощью температурной зависимости  $T(x)$  от координаты и диаграммы состояния, т.е. зависимости  $C[T(x)]$ , где  $C$  – концентрация компоненты легирования (углерода, бора и т.п.) [12]. Расчет профилей температуры  $T(x)$  и концентрации аналогично [13] требует решения сложных ма-

тематических задач о распространении тепла с тепловым источником в виде теплоты фазовых превращений и диффузии легирующей примеси для сильно неравновесных условий экспериментов [1-8]. Простейшие же оценки требуют использования следующего профиля  $T(x)$ : в момент затвердевания расплава на поверхности температура равна температуре испарения металла (в узком поверхностном слое), далее до границы с твердой основой – температуре плавления и в зоне термического влияния в подложке – температуре фазового превращения, например, мартенситного [1,2,12,13]. Однако эти и подобные оценки носят при анализе фаз в лучшем случае только полуколичественный характер, и нередко не соответствуют действительности, т.к. неравновесная диаграмма состояния систем типа  $Fe(C,V)$  и  $Ni(C,V)$  и др. неизвестна. Заметим, что неравновесная диаграмма состояния отвечает и за наноструктуры [14].

Рассмотрим теперь градиентный характер дефектных субструктур. Градиентность дефектной субструктуры, т.е. закономерное ее изменение в глубь материала подложки, мы рассмотрим только в зоне термического влияния, т.к. данных о распределении дислокаций в оплавленном слое почти нет. Основной причиной формирования градиентных структур дислокаций в зоне термического влияния являются термонапряжения, порождаемые градиентом температурного поля. Заметим, что скалярная плотность дислокаций в случае науглероживания и карбоборирования железа  $\rho = (3,6 \div 6,4) \cdot 10^{14} \text{ м}^{-2}$  согласуется с размерами кристаллитов  $\alpha$ -фазы (80 нм) и мартенсита по формуле  $L \approx 1/\sqrt{\rho}$ , где  $L$  – размер концентратора напряжений. Это связано с тем, что указанные кристаллиты являются концентраторами напряжений. Отметим также, что согласно В.В.Рыбину дислокационные субструктуры в наших экспериментах действительно соответствуют сеткам и ячейкам, т.к. для них из теории следует соотношение  $\rho \leq 10^{15} \text{ м}^{-2}$  [15]. Остановимся далее на градиенте температуры и термонапряжениях. Как известно [16], формулы для термонапряжений получены для различных экспериментальных условий с помощью соотношения Дюамеля-Неймана  $\sigma_{ij}(T) = E_{ijkl} \alpha_{kl} \Delta T$ , где  $\sigma_{ij}$  – термонапряжения,  $E_{ijkl}$  – модуль упругости,  $\alpha_{kl}$  – коэффициент термического расширения,  $\Delta T = T - T_0$  – изменение температуры [16].

В нашем случае  $\sigma_{ij} \sim (dT/dx)^2$ , что соответствует приблизительно уменьшению плотности дислокаций в глубь слоя при карбоборировании железа примерно в два раза  $(3,6 \div 6,4) \cdot 10^{14} \text{ м}^{-2}$ . Это видно из того, что температура внизу приграничного слоя  $T \approx 10^3 \text{ К}$ , в зоне

термического влияния температура  $T_0 = 0,6 \cdot 10^3$  К в первом подслое, а во втором подслое температуры на его границах  $T' = 0,6 \cdot 10^3$  К,  $T'_0 = 0,3 \cdot 10^3$  К. Поскольку толщины подслоев одинаковы и равны  $\Delta x \approx 3$  мкм, то градиенты температур в подслоях зоны термического влияния  $\Delta T/\Delta x$  и  $\Delta T'/\Delta x'$  отличаются в 1,3 раза.

Возьмем связь напряжений с плотностью дислокаций в виде  $\sigma = Gb\sqrt{\rho}$ , где  $G$  – модуль сдвига, а  $b$  – вектор Бюргерса [15]. Приравнявая эти напряжения термонапряжениям мы найдем температурную зависимость плотности дислокаций в зоне термического влияния  $Gb\sqrt{\rho} = \sigma \sim (dT/dx)^2$ , откуда  $\rho \sim (dT/dx)^4$ . Тогда мы получаем, что плотности дислокаций для железа (и никеля) отличаются как и в эксперименте в 2-3 раза. Таким образом, за градиентный характер распределения дислокационных субструктур в зоне термического влияния отвечают термонапряжения.

В заключении, отметим, что градиентный характер структурно-фазовых состояний при обработке материалов плазмой электрически взрывааемых проводников значительно обогащает физико-механические свойства материалов и делает их полезными даже в физике электропластической деформации (волочение и усталость). Полезность материалов, прошедших обработку методом ЭВЛ в физике электропластичности (плотность тока  $j \approx (10^2 \div 10^3)$  А/м<sup>2</sup>) связана с эффектом измельчения сеток дислокаций под действием тока (В.Б. Фикс, В.Я. Кравченко, В.Е. Громов).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электровзрывное легирование железа углеродом: рельеф поверхности, фазовый состав и дефектная субструктура / А.Я. Багаутдинов, Е.А. Будовских, Ю.Ф. Иванов, Е.В. Мартусевич, В.Е. Громов // Известия вузов. Физика. – 2005. – № 9. – С. 36-41.
2. Электровзрывное карбоборирование железа: рельеф поверхности, фазовый состав и дефектная субструктура модифицированного слоя / А.Я. Багаутдинов, Е.А. Будовских, Ю.Ф. Иванов, Е.В. Мартусевич, В.Е. Громов // Вопросы материаловедения. – 2005. – № 3. – С. 32-39.
3. Электровзрывное легирование железа мелью: градиент фазового состава и дефектной субструктуры модифицированных слоев / О.А. Цвиркун, Е.А. Будовских, Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов // Физическая мезомеханика. – 2006. – Т. 9. – № 4. – С. 49-54.

4. Электровзрывное боромеднение железа: структурно-фазовое состояние зоны легирования / О.А. Цвиркун, Е.А. Будовских, Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов // *Материаловедение*. – 2006. – № 11. – С. 30-33.

5. Фазовый состав и дефектная субструктура железа после электровзрывного алитирования / О.А. Цвиркун, Ю.Ф. Иванов, Е.А. Будовских, В.Е. Громов // *Заготовительные производства в машиностроении*. – 2006. – № 11. – С. 37-40.

6. Электронно-микроскопические исследования поверхностных слоев никеля после электровзрывного науглероживания и карбоборирования / А.Я. Багаутдинов, Е.А. Будовских, Ю.Ф. Иванов, В.К. Каратеев, Е.В. Мартусевич, В.Е. Громов // *ФиХОМ*. – 2006. – № 2. – С.50-57.

7. Структурно-фазовый анализ поверхности никеля после электровзрывного легирования медью / О.А. Цвиркун, А.Я. Багаутдинов, Ю.Ф. Иванов, Е.А. Будовских, В.Е. Громов // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 2006. – № 6. – С. 28-29.

8. Мезоструктурный уровень модификации никеля бором при электровзрывной обработке поверхности / А.Я. Багаутдинов, Е.А. Будовских, Ю.Ф. Иванов, Е.В. Мартусевич, В.Е. Громов // *Физическая мезомеханика*. – 2005. – Т. 8. – № 4. – С. 89-99.

9. Основы технологии обработки поверхности материалов импульсной гетерогенной плазмой / Е.А. Будовских, В.Д. Сарычев, В.Е. Громов, П.С. Носарев, Е.В. Мартусевич. – Новокузнецк: СибГИУ, 2002. – 170 с.

10. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении / Л.М. Утевский. – М.:Металлургия. 1973. – 583 с.

11. Физика и механика волочения и объемной штамповки / В.Е. Громов, Э.В. Козлов, В.И. Базайкин и др. – М.: Недра, 1997. –293 с.

12. Курдюмов Г.В. Превращения в железе и стали / Г.В. Курдюмов, Л.М. Утевский, Р.И. Энтин. – М.: Наука, 1977. –236 с.

13. Модификация и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками / Под ред. Дж.Поута, Г.Фоти, Д.Джекобсона. – М.: Машиностроение, 1987. –424 с.

14. Валиев Р.З. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией / Р.З. Валиев, И.В. Александров. – М.: Логос, 2000. – 272 с.

15. Рыбин В.В. Большие пластические деформации и разрушение металлов / В.В. Рыбин. – Металлургия, 1986. – 224 с.

16. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела / Ю.Н. Работнов. – М.: Наука, 1979. – 744 с.



УДК 669.017 : 546.8

О.Ю. Ковалик, В.Д. Тхай\*

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

\*Екатеринбургская государственная медицинская академия,  
г. Екатеринбург

## КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ IV-VB ГРУПП В СОЛЕВЫХ РАСПЛАВАХ И МЕТОДЫ ИХ ЗАЩИТЫ

Изучение коррозии материалов в расплавленных солевых средах и изыскание способов защиты от нее имеет первостепенное практическое значение. Широко применяется получение защитных покрытий плазменным напылением. Показано, что плазменные покрытия повышают коррозионную стойкость металлических материалов в расплавленных хлоридах.

Studying of corrosion of materials in the fused salt environments and research of ways of protection against it has paramount practical value. Reception of sheetings plasma dust is widely applied. It is shown, that plasma coverings raise corrosion stability (resistance) of metal materials the fused chlorides.

В современной технике все большее применение находят расплавленные соли. Так, например, при химико-термической обработке металлов, промышленном получении и рафинировании легких, редких и ряда тугоплавких металлов, как высокотемпературные солевые смазки при холодной и горячей обработке металлов давлением. Они могут применяться в качестве теплоносителей для атомных реакторов, ввиду ряда преимуществ перед другими, и во многих отраслях современной техники.

Окончательное применение солевых расплавов в той или иной отрасли промышленности зависит от решения вопроса подбора конструкционных материалов, устойчивых к их воздействию. Поэтому изучение коррозии этих материалов в расплавленных солевых средах и изыскание способов защиты от нее имеет первостепенное практическое значение, учитывая не только разрушение материала, но и изменение состава, которое может оказать существенное влияние на коррозионный процесс.

Металлы IV-V B групп, такие как Ti, Zr, Hf, Nb, во многих отношениях являются подходящим объектом для исследования коррозионного поведения металлов в солевых расплавах, т.к. они вполне химиче-

ски устойчивы и могут также называться перспективным конструкционным материалом для химического машиностроения.

Основной целью нашего исследования является выяснение влияния отдельных факторов на процесс коррозии вышеуказанных металлов в расплавленных хлоридах щелочноземельных металлов и магния. Прежде всего, изучается коррозия металлов в результате окисления его катионами солевой среды  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Sr}^{+2}$ ,  $\text{Ba}^{+2}$  в зависимости от температуры. Затем, детально изучается коррозионное поведение металлов в расплавах.

В качестве защитных средств от коррозии ведется определение оптимальных условий получения силицидных покрытий на металлах; определение возможности нанесения защитных покрытий на металлы воздействием высокоэнтальпийными гетероплазменными пучками.

Теоретическое обоснование, экспериментальный задел.

Изучение литературы за последние годы показывает, что поведение металлов в расплавах хлоридов щелочных металлов достаточно исследовано. Меньше изучено поведение металлов с расплавами хлоридов щелочноземельных металлов. Поэтому нами проведено исследование поведения металлических титана, циркония в хлоридах щелочноземельных металлов.

По данным прямых коррозионных испытаний выведены уравнение температурных зависимостей скорости коррозии титана и циркония в исследованных средах.

Титан:

$$\text{в CaCl}_2, \quad \lg V = (11,30 \pm 0,11) - (10480 \pm 130)/T \pm 0,015 \quad (1)$$

$$\text{в SrCl}_2, \quad \lg V = (6,24 \pm 0,25) - (5410 \pm 310)/T \pm 0,03 \quad (2)$$

$$\text{в BaCl}_2, \quad \lg V = (17,15 \pm 1,76) - (19930 \pm 2260)/T \pm 0,14 \quad (3)$$

Цирконий:

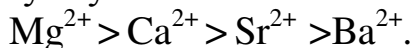
$$\text{в MgCl}_2, \quad \lg V = (14,09 \pm 1,10) - (14500 \pm 1300)/T \pm 0,11 \quad (4)$$

$$\text{в CaCl}_2, \quad \lg V = (10,08 \pm 1,75) - (11560 \pm 2050)/T \pm 0,15 \quad (5)$$

$$\text{в SrCl}_2, \quad \lg V = (9,33 \pm 2,42) - (12350 \pm 2950)/T \pm 0,20 \quad (6)$$

$$\text{в BaCl}_2, \quad \lg V = (8,61 \pm 2,48) - (10840 \pm 3170)/T \pm 0,14 \quad (7)$$

Как видно из уравнений (1 – 7), скорость коррозии металлов при одной и той же температуре уменьшается в зависимости от характера расплава при переходе от хлорида магния к хлориду бария. Это соответствует уменьшению окислительной способности катионов в ряду



Следует отметить, что скорость коррозии циркония в хлоридах щелочноземельных металлов в одинаковых условиях существенно меньше, чем титана.

Предполагается, что скорость коррозии гафния (элемента той же подгруппы) будет еще меньше. Ранее нами изучено поведение гафния в расплаве  $\text{CaCl}_2$  и ниобия в расплаве  $\text{BaCl}_2$ .

Таблица – Сопоставление скорости коррозии металлов в расплавленных хлоридах щелочноземельных металлов (ЩЗМ) и магния при 1173/1273 К, рассчитанной гравиметрическим методом,  $\text{г/м}^2\text{ч}$ .

	Ti	Zr	Hf	Nb
$\text{MgCl}_2$	-	54/501	-	-
$\text{CaCl}_2$	232/1170	1,7/10	0,17/1,01	-
$\text{SrCl}_2$	42/98	0,063/0,42	-	-
$\text{BaCl}_2$	6,4/46	0,23/1,24	-	0,020/0,082

Необходимо исследовать поведение гафния и ниобия в остальных солевых расплавах и сравнить с коррозией в тех же хлоридах ЩЗМ титана и циркония.

Коррозионные испытания проводились в максимально чистых условиях. Отработана лабораторная методика получения безводных хлоридов ЩЗМ и магния. Важным является длительное вакуумирование расплава для получения чистого хлорида ЩЗМ и магния.

Эксперимент проводится в ячейке (кварцевой трубке) в атмосфере инертного газа. Обезвоженную соль хлоридов ЩЗМ помещают на дно трубки в алундовом тигле, исследуемый образец металла опускают на молибденовом токоподводе. Ячейка также снабжена термопарой в алундовом чехле, хлорным электродом сравнения (также в алундовом чехле) и термоэкранами.

Измерены потенциалы коррозии циркония и титана относительно хлорного электрода сравнения. Найдена зависимость стационарного потенциала титана и циркония от температуры в исследованных расплавах. Им отвечают эмпирические уравнения:

$$\text{Ti} \quad \text{в } \text{CaCl}_2, \quad E_{\text{ст}} = -3,021 + 0,92 \times 10^{-3} T, \quad \text{В}; \quad (8)$$

$$\text{Ti} \quad \text{в } \text{SrCl}_2, \quad E_{\text{ст}} = -3,156 + 0,97 \times 10^{-3} T, \quad \text{В}; \quad (9)$$

$$\text{Ti} \quad \text{в } \text{BaCl}_2, \quad E_{\text{ст}} = -3,305 + 1,03 \times 10^{-3} T, \quad \text{В}; \quad (10)$$

$$\text{Zr} \quad \text{в } \text{MgCl}_2, \quad E_{\text{ст}} = -3,556 + 1,380 \times 10^{-3} T, \quad \text{В}; \quad (11)$$

$$\text{Zr} \quad \text{в } \text{CaCl}_2, \quad E_{\text{ст}} = -3,730 + 1,439 \times 10^{-3} T, \quad \text{В}; \quad (12)$$

$$\text{Zr} \quad \text{в } \text{SrCl}_2, \quad E_{\text{ст}} = -3,816 + 1,310 \times 10^{-3} T, \quad \text{В}; \quad (13)$$

$$\text{Zr} \quad \text{в } \text{BaCl}_2, \quad E_{\text{ст}} = -3,971 + 1,380 \times 10^{-3} T, \quad \text{В}; \quad (14)$$

Из представленных данных видно, что потенциал коррозии с увеличением температуры становится положительнее. Такое смещение его при одинаковой температуре отвечает большей скорости коррозии в ряду  $BaCl_2$ - $SrCl_2$ - $CaCl_2$ .

Потенциал коррозии металла позволяет рассчитать ток его коррозии. Для этого необходимо знать коэффициенты диффузии ионов корродирующего металла в исследуемых средах.

Исследования показали, что наиболее эффективным способом защиты металла от коррозии в агрессивных средах является модифицирование его поверхности, т.е. нанесение на металл покрытий, устойчивых к воздействию данной технологической среды.

В настоящее время, известен ряд таких покрытий, различающихся как по химическому составу, так и по способу их нанесения на металлические детали. Дороговизна применяемых покрывающих материалов и необходимость высоких температур некоторых методов отменила метод образования силицидных покрытий. Доказано, что при выдержке расплава хлорида стронция в кварцевом контейнере происходит взаимодействие между ними. При этом образуются силикат-ионы, которые переносятся на поверхность металла. Введение в расплав хлорида ШЗМ диоксида кремния значительно снижает скорость взаимодействия металла с расплавом. Это связано с тем, что на поверхности металла образуется защитный слой сложного состава. С увеличением времени выдержки на поверхности металла образуется слой силицида, устойчивого к действию расплава. Однако в литературе отсутствуют данные о механизме и причинах образования силицидных покрытий на металлах.

Широко применяется получение защитных покрытий плазменным напылением. Показано, что плазменные покрытия повышают коррозионную стойкость металлических материалов в расплавленных хлоридах.

Постановка задачи.

1. Провести прямые коррозионные испытания металлического гафния, ниобия, тантала в расплавленных хлоридах ШЗМ.

2. Определить временные и температурные зависимости коррозии. Влияние радиуса катиона и аниона соли для металлов IV-V В групп.

3. Провести математическую обработку экспериментальных данных по скорости коррозии металлов подгруппы титана в расплавленных хлоридах ШЗМ. Вывести эмпирические уравнения, описы-

вающие зависимости скорости коррозии металлов и потенциала коррозии самого металла  $E_{кор}$  от атомного номера элемента.

4. Выбрать оптимальный режим получения силицидных покрытий (влияние температуры поверхности контакта расплава с порошком, времени).

5. Получение плазмохимических покрытий на образцах металлов. Синтез силицидных и боридных покрытий. Исследование коррозионной стойкости полученных покрытий.

Предполагаемые подходы к решению.

1. Создание установки для проведения коррозионных испытаний.

2. Выбор оптимальных режимов для кинетических исследований.

3. Создание программ для математической обработки экспериментальных данных.

4. Создание металловедческой базы для исследования силицидных покрытий.

5. Создание оптимальной установки, работающей на методе взрывающихся проволок с целью аморфизации поверхности с последующим внедрением в поверхность металлов материалов, придающих им коррозионную стойкость, жаростойкость, повышенную механическую прочность и устойчивость к воздействию агрессивных сред.

6. Подборка материалов, которые могли бы придавать поверхности свойства, указанные выше.

7. Разработка оптимальных режимов нанесения покрытий.

8. Проведение коррозионных испытаний материалов с покрытиями.

УДК 620.18:669.14

В.И. Данилов\*, Д.В. Валуев, Ю.Ф. Иванов\*\*, А.М. Апасов  
Юргинский технологический институт (филиал) Томского  
политехнического университета, г.Юрга

\*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,  
г. Томск

\*\*Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск

## О ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИНАХ БРАКА КРУПНОТОННАЖНЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ МАРГАНЦЕВОЙ СТАЛИ НА ПО «ЮРМАШ»

Проведено исследование механических свойств и микроструктуры кованой крупнотоннажной заготовки из низкоуглеродистой стали, которая не прошла обязательный выходной ультразвуковой контроль. Установлены отклонения от оптимальной структуры и несоответствие пластичности металла требованиям ТУ. На основе полученных результатов сделан вывод о том, что причинами брака могут быть отклонения от штатного химического состава и нарушения режима горячейковки.

Research of mechanical properties and microstructure of forged large capacity blank of low-carbon steel which was not subject to necessary ultrasonic check was carried out. Deviations from optimal structure and variance from plasticity requirements of technical specifications were found out. Based on the received results a conclusion was made that the causes of the defects could be deviations from the normal chemical composition and failure of hot forging mode.

Металлургическое производство ПО «Юрмаш» является одним из немногих в России, которое имеет возможность производить поковки массами до 17,5 тонн. С этой точки зрения оно экономически и технически привлекательно как для отечественных, так и для зарубежных потребителей. Однако данное обстоятельство накладывает высокую ответственность за качество продукции, особенно, в новых экономических условиях хозяйственной деятельности.

В то же время к 2000 году на производстве сложилась ситуация, когда внутриваровской брак при изготовлении крупнотоннажных по-

ковок превышает 7 %. Чаще всего слитки растрескиваются при нормализации и нагреве под горячую ковку или не расковываются в процессе кузнечного передела. Значительная доля готовых изделий не проходит обязательный выходной ультразвуковой контроль (УЗК).

Основной способ устранения этих недостатков заключается в строгом соблюдении технологической дисциплины и своевременной научно обоснованной корректировке технологических карт производства. Последнее невозможно без тщательных сравнительных исследований структуры и механических свойств бракованных и кондиционных заготовок.

В качестве материала для исследований использован, поперечный темплет стали St52,3N, который был вырезан из заготовки, не прошедшей обязательный УЗК. Стандартный химический состав указанной стали в массовых процентах представлен в таблице. Образцы для механических испытаний и металлографических исследований вырезались из той части темплата, которая непосредственно прилегла к трещине, выявленной магнитно-порошковым методом. Для сравнения исследовалась структура образцов металла из кондиционной заготовки.

Таблица – Химический состав стали St52,3N по ТУ

C, %	Mn, %	Al, %	P, %	S, %	Si, не более %	Cr, не более %	Mo, не более %	Ni, не более %
0,16-0,22	1,0-1,6	0,02-0,06	0,035	0,035	0,55	0,4	0,1	0,4

Механические испытания на одноосное растяжение выполнялись на универсальной испытательной машине Instron 1185. Скорость деформирования составляла  $1,67 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$  (1мм/мин), при комнатной температуре. Для растяжения были изготовлены по ГОСТ 1497-84 плоские образцы с размерами рабочей части 100×10×3 мм. Продольная ось образцов была нормальна к оси поковки. Определение ударной вязкости по ГОСТ 1524-2042 производилось на маятниковом копре МК 30А также при комнатной температуре на стандартных образцах с U-образным концентратором напряжений. Металлографические исследования проводились на микроскопе Neophot-21.

Прецизионные исследования дефектной подсистемы, распределения и структурно-фазового состава вторичных фаз проводились методом трансмиссионной электронной микроскопии. Эти исследования были выполнены на просвечивающем микроскопе УЭМВ-125К в светлом и темном поле. Фольги для исследований вырезались элек-

троискровым способом из образцов, на которых ранее проводился металлографический анализ. Изучалась тонкая структура стали из бракованной и кондиционной поковок. Определялись тип дислокационной субструктуры в ферритных зернах и ферритных прослойках перлита, строение перлитных колоний, форма, размеры, расположение и состав частиц вторичных фаз.

По результатам механических испытаний анализировался вид деформационных диаграмм, и определялись стандартные прочностные и пластические характеристики. На деформационных кривых только у одного из пяти испытанных образцов (рисунок 1, кр. 1) наблюдались зуб и площадка текучести. Типичная диаграмма нагружения представлена на рисунке 1, кр. 2. Обращает на себя внимание факт очень небольшой нестационарной деформации в шейке. Испытанные образцы показали следующие механические характеристики:  $\sigma_{0,2} = 270 \pm 18$  МПа,  $\sigma_B = 463 \pm 45$  МПа,  $\delta = 10,8 \pm 2,7$  %,  $\psi = 15,7 \pm 2,8$  %, КСУ =  $70 \pm 5$  Дж/см. Требования по ТУ –  $\sigma_{0,2} \geq 275$  МПа,  $\sigma_B = 450-630$  МПа,  $\delta \geq 17$  %. Здесь:  $\sigma_B$  – временное сопротивление,  $\delta$  – относительное удлинение при разрыве, КСУ – ударная вязкость при комнатной температуре.

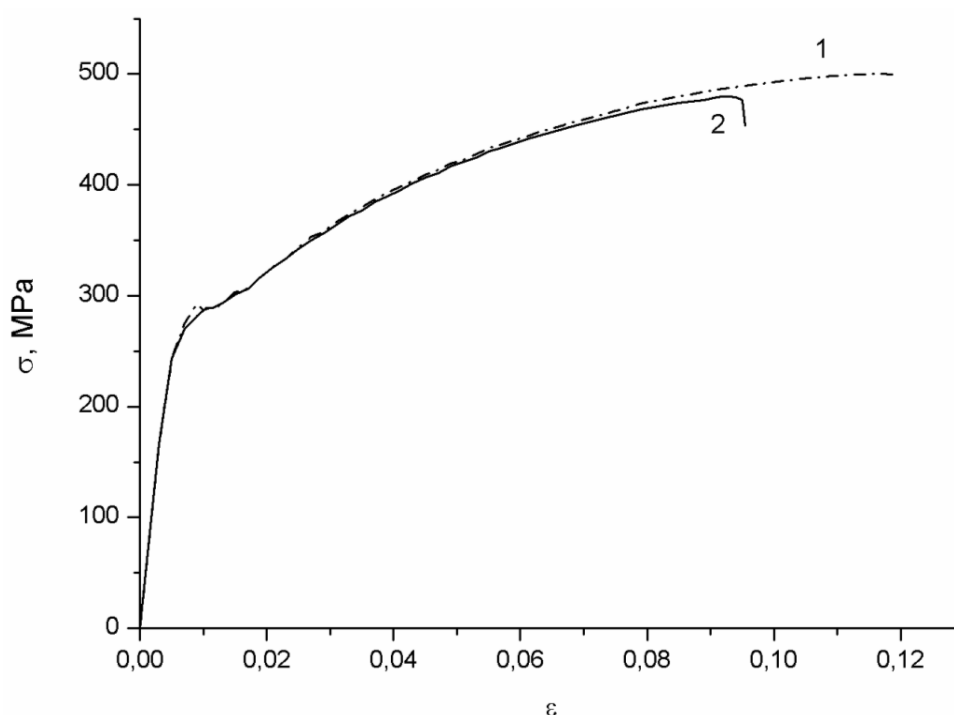


Рисунок 1 – Диаграммы нагружения образцов стали St52,3N

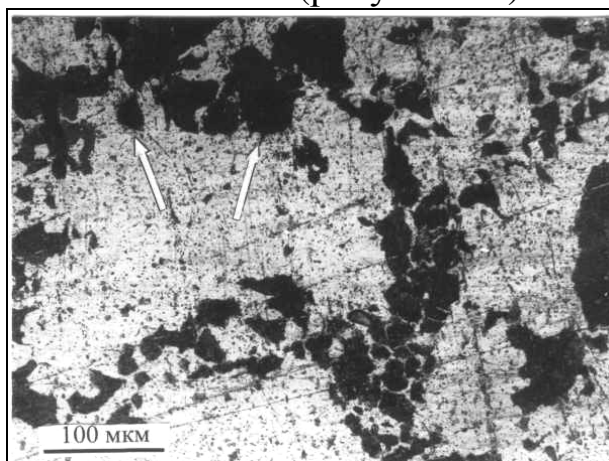
Видно, что, если прочностные параметры соответствуют предельно допустимому уровню требований, то пластичность более чем на 40 % ниже. В полном соответствии с видом деформационной кри-



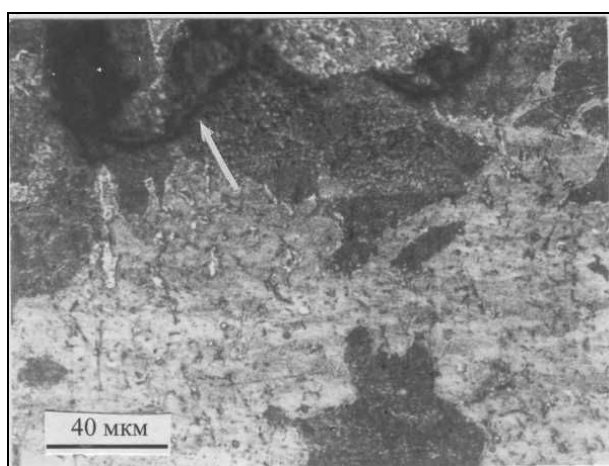
вой очень малым оказалось относительное сужение образцов в шейке разрушения  $\psi$ , которое не превышало 20 %. В то же самое время, ударная вязкость стали оказалась на вполне удовлетворительном уровне и составила 70 Дж/см<sup>2</sup>.

Характерными оказались изломы, образующиеся как при ударных, так и при квазистатических испытаниях. Согласно классификации, предложенной в [1], их можно определить как неоднородно-волокнустые с вырывами. Такой тип излома возникает вследствие неоднородности исходной литой структуры и недостаточной степени деформации при обработке давлением [1].

Металлографический анализ позволил установить, что исследуемая сталь является феррито-перлитной со следующими размерами структурных составляющих: поперечник ферритных зерен 25-40 мкм, а перлитных колоний – 12-17 мкм (рисунок 2 а).



а – общий вид микроструктуры, стрелками указаны поры



б – тонкая структура перлитной колонии, стрелками указана цепочка пор

Рисунок 2 – Микроструктура стали St52,3N из бракованной заготовки

Существенным представляется тот факт, что перлитные колонии располагаются цепочками (рисунок 2 а, б). Обращает на себя внимание очень грубая субструктура перлитных колоний межпластиночное расстояние превышает 2 мкм. Содержание перлита в стали составляет 25-30 %, что превышает его количество, соответствующее штатному химическому составу материала (таблица). В ферритных зернах отмечаются в значительном количестве выделения вторичных фаз (рисунок 2 б). Размеры которых достигают 0,5 мкм.

Вторым структурным недостатком исследуемых образцов является обилие пор, которые достигают размеров до 100 мкм. В ряде случаев поры выходят на свободную поверхность заготовки.

В кондиционном материале размеры структурных элементов такие же, как в дефектном, однако перлитные колонии расположены стохастически и цепочек не образуют. Содержание перлита соответствует марочному химическому составу стали (таблица), строение перлитных колоний более дисперсное.

Характерное электронно-микроскопическое изображение феррита, перлита глобулярной и перлита пластинчатой морфологий приведено на рисунке 3 а, б и в соответственно. Характерной особенностью колоний пластинчатого перлита является высокий уровень дефектности пластин цементита, которые сильно искривлены, содержат ферритные прослойки, а их поперечные размеры изменяются по длине пластины (рисунок 3 б).

Ферритные пластины перлита демонстрируют более высокий уровень дефектности. Если в зернах феррита регистрируются клубковая и сетчатая субструктуры, а скалярная плотность дислокаций составляет  $\sim 2,6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$  (рисунок 3 а), то в ферритных пластинах перлита наблюдается только сетчатая дислокационная субструктура при скалярной плотности  $3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$  (рисунок 3 б).

Частицы второй фазы фиксируются в теле зерен феррита и ферритных пластин перлита, по границам и в тройных стыках. Если частицы расположены в объеме зерен, то они всегда имеют округлую форму. Средние размеры таких частиц составляют  $\sim 13$  нм. Микрофракционный электронно-микроскопический анализ показывает, что данные частицы являются сульфидами железа составов FeS или FeS<sub>2</sub>.

Частицы, расположенные вдоль границ зерен, подразделяются на три морфологические разновидности: частицы с кристаллической огранкой, тонкие прослойки и глобулы. В стыках границ зерен феррита частицы второй фазы практически везде имеют глобулярную форму.

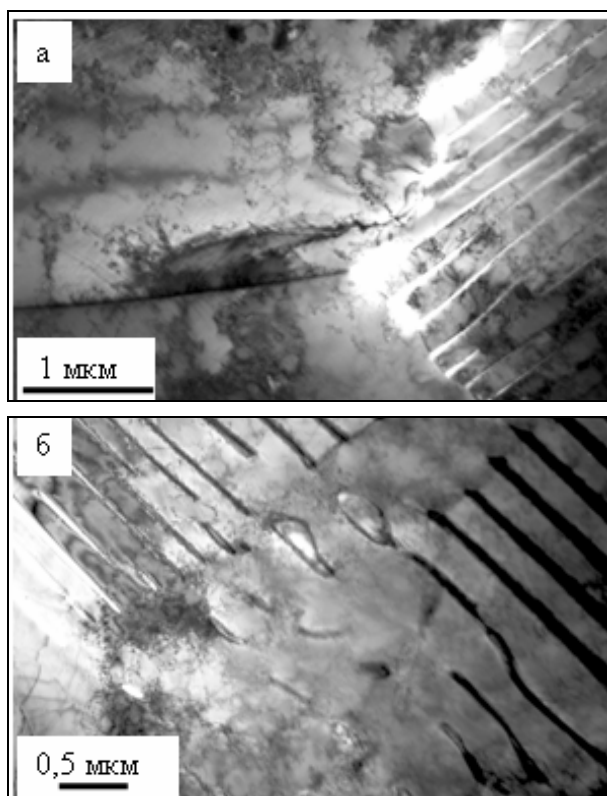


Рисунок 3 – Электронно-микроскопические изображения структуры стали St52,3N из дефектной поковки

Микродифракционный анализ показывает, что частицы глобулярной морфологии, независимо от места их расположения, представляют собой карбид железа цементитного типа. У частиц в виде тонких прослоек более сложный химический состав. Они могут быть и сульфидами железа и сульфидами хрома типа MeS. Наконец, частицы ограненной формы всегда являются сульфидами железа FeS.

Результаты электронно-микроскопического анализа подтверждают вывод о повышенном содержании углерода в стали St52,3N из бракованной заготовки на уровне не ниже ~0,3 масс. %.

Важной особенностью электронно-микроскопических изображений структурных составляющих стали из дефектной поковки, является наличие в них изгибных экстинкционных контуров, которые отражают кривизну-кручение кристаллической решетки. Источниками кривизны-кручения являются межфазные границы (рисунок 3 а) или цепочки частиц вторичных фаз. По ширине изгибных экстинкционных контуров можно определять величину внутренних дальнедействующих напряжений [2]. Наиболее узкие экстинкционные контуры наблюдаются вдоль цепочек сульфидных включений. Здесь по методу [2] внутренние дальнедействующие напряжения могут достигать 300-350 МПа, что соизмеримо с пределом прочности стали.

## ВЫВОДЫ

Исследования материала как дефектной, так и кондиционной поковок позволили установить.

1. Объемные доли перлита в стали из дефектной и кондиционной поковок существенно различаются. В первом случае относительная объемная доля перлита в 1,5-2 раза больше, и это означает, что концентрация углерода завышена по отношению к марочному содержанию, она может составлять ~0,3 вес.%. По морфологическому признаку в дефектном металле превалирует пластинчатый перлит.

2. Локальные далекодействующие напряжения, оцененные электронно-микроскопическим методом, велики и соизмеримы с пределом прочности материала.

3. В обоих состояниях наблюдаются дисперсные карбиды и включения сульфидного типа, расположенные в объеме и по границам зерен феррита и ферритных пластин перлита. В образце стали из дефектной заготовки содержание сульфидов значительно выше, и они располагаются в теле ферритных зерен и по межфазным границам, тогда как в материале из кондиционной поковки – только внутри зерен.

4. Причиной растрескивания крупнотоннажных заготовок из стали St52,3N является неполное соответствие химического состава марочным требованиям. В бракованной поковке оказалось повышенное содержание углерода и, по-видимому, серы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ежов А.А. Изломы конструкционных сталей / А.А. Ежов, Л.П. Герасимова, А.М. Каток // МиТОМ. – 2004. – № 4. – С. 34-38.

2. Конева Н.А. Природа субструктурного упрочнения / Н.А. Конева, Э.В. Козлов // Известия вузов. Физика. – 1982. – № 8. – С. 3-14.

УДК 669.539.382.2

В.А. Малиновская, Н.А. Попова, Э.В. Козлов\*

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк;

\*ГОУ ВПО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», г. Томск

## ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ВНЕДРЕНИЯ И ЗАМЕЩЕНИЯ ПРИ НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ СТАЛИ 20X2H4A И ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДУЮЩИХ ТЕРМООБРАБОТОК

Методами рентгеноструктурного анализа и просвечивающей электронной микроскопии изучено влияние нитроцементации и последующих видов термообработки на перераспределение элементов внедрения и замещения в стали 20X2H4A. Определены количественные параметры градиентной структуры, которая характеризуется изменением суммарной концентрации элементов внедрения и концентрацией элемента замещения по глубине нитроцементованного и затем термообработанного слоя.

The methods roentgenstructural of the analysis and electron microscopy investigate influence carbonitrided and consequent kinds of heat treatment on redistribution of elements of introduction and substitution in steel 20Cr2Ni4A. The quantitative parameters of a structure are determined which is characterized by change of total concentration of elements of introduction and concentration of an element of substitution on depth carbonitrided and then heat treatment of a layer.

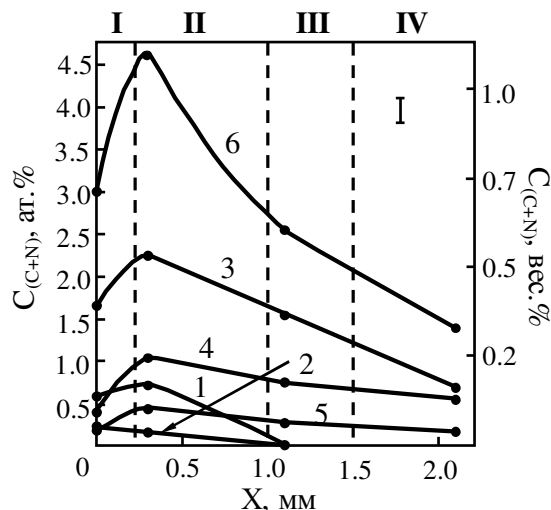
В настоящее время уже достаточно широко применяется нитроцементация легированных сталей, в результате чего в поверхностных слоях материала содержание углерода и азота достигает значительных величин [1,2]. Поэтому в структуре нитроцементованного слоя должно содержаться значительное количество избыточных карбидов и карбонитридов [3-5]. Результаты настоящей работы также это подтверждают. Ранее [4] послойным спектральным анализом, радиометрическим анализом и автордиографией было показано, что после цементации легированных сталей максимальная концентрация углерода в цементованном слое (в твердом растворе, на дефектах кристаллического строения и в частицах вторичных фаз) выше предела раствори-

мости и достигает содержания его в чугунах. Цементация сопровождается ростом карбидов. Это также подтверждено и при нитроцементации конструкционной стали мартенситного класса 20X2H4A. Поскольку диффузия, в частности, углерода при цементации сопровождается ростом карбидов, то кроме градиента концентрации по образованному слою происходит диффузия углерода и легирующих элементов к растущим частицам. Рост частиц обусловлен притоком углерода через насыщаемую поверхность, поэтому взаимодействие этих элементов с легирующими элементами приводит к возникновению взаимных потоков углерода и легирующих элементов. При сравнительно больших концентрациях углерода взаимодействие его с легирующими элементами приводит к направленному перемещению последних, в результате чего может происходить избирательное легирование поверхности стали. Именно к такому выводу пришли авторы [4] при изучении влияния углерода при цементации высокохромистой стали.

В исследуемой стали 20X2H4A, элементами внедрения являются углерод и азот, а замещения – хром. Поэтому авторами было рассмотрено, каким образом влияет высокотемпературная нитроцементация на взаимную диффузию с одной стороны углерода и азота, а с другой стороны – хрома.

Концентрация углерода и азота в работе определялась из стехиометрического состава карбидов и карбонитридов и их объемных долей, а в  $\alpha$ - и  $\gamma$ -фазах - с использованием параметров их кристаллических решеток. Если воспользоваться равновесными диаграммами Fe–C–N–Cr [6], и допустить, что соотношение и фазовый состав стали отвечают равновесию при температуре, близкой или ниже процесса нитроцементации, то можно разделить доли азота и углерода и определить химический состав зон нитроцементированного слоя. В результате этого было установлено, что содержание азота и углерода в  $\alpha$ -фазе близко к отношению 1 : 1; в  $\gamma$ -фазе азота в 2 раза больше, чем углерода; в цементите азота практически нет, а равновесный состав карбонитридов  $M_2(C,N)$  и  $M_{23}(C,N)_6$  можно записать, предварительно построив зависимости соотношения элементов внедрения C/N в карбонитридах  $M_{23}(C,N)_6$  и  $M_2(C,N)$  от содержания хрома, следующим образом:  $M_{23}(C_{0,89}N_{0,11})_6$  и  $M_2(C_{0,61}N_{0,39})$ .

С помощью данных количественного фазового анализа, было установлено, что углерода в карбонитридном слое значительно больше, чем азота. В основном он сосредоточен в цементите и карбонитриде  $M_{23}(C,N)_6$ , а также в  $\alpha$ -фазе. Азот сосредоточен в  $\gamma$ - и  $\alpha$ -фазах и в карбонитридах  $M_{23}(C,N)_6$  и  $M_2(C,N)$ . Проведенные расчеты показали,

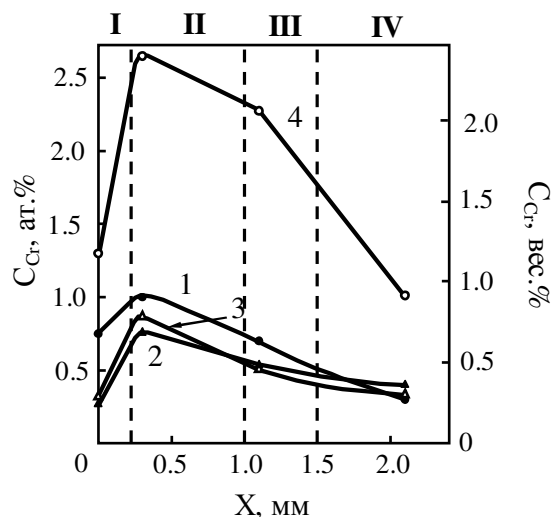


1 – в  $\alpha$ -фазе; 2 – в  $\gamma$ -фазе; 3 – в цементите; 4 – в карбонитриде  $M_{23}(C,N)_6$ ; 5 – в карбонитриде  $M_2(C,N)$ ; 6 – суммарная концентрация в материале. Римскими цифрами и вертикальными пунктирными линиями отмечены границы зон

Рисунок 1 – Изменение суммарной концентрации элементов внедрения  $C_{(C+N)}$  по глубине нитроцементованного и затем термообработанного слоя в стали 20X2H4A (концентрация углерода и азота приведена в ат.% – левая вертикальная ось графика и вес.% – правая ось)

что после нитроцементации поверхностный слой материала (зона I) пересыщен углеродом и азотом в количестве  $(C + N) \approx 2,1$  вес.%, в зоне основного металла (зона IV) содержание  $(C + N) \approx 0,6$  вес.%. С ростом концентрации углерода и азота в стали фактически изменяется ее марка и соответственно температурные области различных фазовых превращений. Это означает, что фактически в зоне I мы имеем дело не со сталью, а с чугуном, а в зоне IV – с доэвтектоидной сталью.

В условиях нитроцементации в аустенитной области имеет место повышенная растворимость элементов внедрения в  $\gamma$ -фазе как в ее объеме, так и особенно по границам зерен. Как показали проведенные исследования, общая объемная доля  $\alpha$ -фазы на поверхности нитроцементованной стали составляет величину, равную 0,42, объем аустенитных зерен составляют 0,2, остальной объем – карбиды и карбонитриды. Из величины объемной доли карбидов и карбонитридов одна треть находится в виде легированного цементита на границах зерен, остальное – в виде частиц карбонитрида  $M_{23}(C,N)_6$  крупных размеров в стыках зерен и на их границах, и более мелких частиц  $M_{23}(C,N)_6$  – в объеме зерен. Это означает, что в ходе нитроцементации границы зерен



1 – в цементите; 2 – в карбонитриде  $M_{23}(C,N)_6$ ; 3 – в карбонитриде  $M_2(C,N)$ ; 4 – суммарная концентрация в материале

Рисунок 2 – Изменение концентрации атомов хрома  $C_{Cr}$  в карбидах и карбонитридах по глубине нитроцементованного и затем термообработанного слоя

активно работают как места развития потоков углерода и азота; от границ зерен происходит диффузия в глубь материала. Одновременно происходит фронтальная диффузия в глубь материала по субграницам (границам мартенситных реек, пластин, пакетов), дислокационным трубкам и, наконец, по объему кристаллической решетки. Диффузия углерода и азота прежде всего протекает по границе аустенитного зерна. Это происходит вследствие того, что энергия активации по границам зерен примерно в 2 раза меньше, чем в теле зерна. Границы ферритных зерен, которые образуются после нитроцементации, практически не оказывают влияния на процесс нитроцементации.

На глубину, более 1,2 мм (зона III), активная диффузия по границе аустенитного зерна за время нитроцементации не развивается. В зоне основного металла (зона IV) в ходе нитроцементации количество карбидов и карбонитридов удваивается по сравнению с исходным состоянием. Несомненно, сюда в основном углерод и азот доставляются путем диффузии по дислокациям.

При последующих термообработках атомы углерода и азота перераспределяются во внутренние слои материала. Суммарная концентрация элементов внедрения (углерода и азота) в твердых растворах ( $\alpha$  и  $\gamma$ ), в цементите и карбонитридах представлена на рисунке 1. При сопоставлении рисунка 1 с данными изменения объемных долей при-



существующих в материале фаз по глубине термообработанного после нитроцементации слоя [7], видно, что, в основном, вклад каждой фазы в суммарную концентрацию  $C_{(C+N)}$  пропорционален её содержанию в карбонитридном слое.

Зная объемную долю фаз, можно рассчитать послойное содержание азота и углерода отдельно. Полученные результаты свидетельствуют, что углерода в карбонитридном слое значительно больше, чем азота. В основном он сосредоточен в цементите и карбонитриде  $M_{23}(C,N)_6$ , а также в  $\alpha$ -фазе. Азот сосредоточен в  $\gamma$ - и  $\alpha$ -фазах и в карбонитриде  $M_2(C,N)$ . При нитроцементации наряду с диффузией атомов элементов внедрения должна присутствовать диффузия и атомов замещения.

В исследуемой стали 20X2H4A к атомам замещения относятся, прежде всего, атомы хрома. При оценке результатов процесса нитроцементации авторы учитывали, что углерод и азот в  $\alpha$ -Fe и углерод в  $\gamma$ -Fe имеют положительную энтальпию смешения, а азот в  $\gamma$ -Fe – отрицательную. Азот в хrome имеет также отрицательную энтальпию смешения. Нитриды хрома имеют большую отрицательную теплоту образования, карбиды хрома – тоже отрицательную, но в 5-10 раз меньшую [8]. Поэтому основным элементом, формирующим фазовый состав и структуру слоев, является хром. Было установлено, что во – первых, весь хром находится в цементите и карбонитридах, в кристаллической решетке матрицы стали атомы хрома отсутствуют. Во-вторых, распределение концентрации хрома точно соответствует доли каждой фазы в материале.

На рисунке 2 представлено количество хрома, пошедшего на образование цементита и карбонитридов после цикла проведенных термических обработок в стали 20X2H4A. Видно, что концентрация атомов хрома, находящихся в частицах цементита и карбонитридах, по мере удаления от поверхности образца изменяется по кривой с максимумом. Таким же образом изменяются и объемные доли этих фаз [7]. Можно констатировать, что, во-первых, весь хром находится в карбонитридах и, во-вторых, на глубине 300 мкм, где максимальна концентрация всех фаз, хром в этих фазах занимает не более 1/4 возможных позиций. Остальные позиции заняты атомами железа. Иными словами, в нитроцементированном слое стабильность вторичных фаз обратно пропорциональна их концентрации.

## ВЫВОДЫ

В работе установлена роль механизмов диффузии, ответственных за формирование градиентных структурно – фазовых состояний в конструкционной стали мартенситного класса 20X2H4A. Выявлены закономерности изменения параметров структуры по мере удаления от поверхности образца вглубь. При этом определены: суммарная концентрация элементов внедрения  $C_{(C+N)}$  и концентрация атомов хрома  $C_{Cr}$  в карбидах и карбонитридах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заболеев-Зотов С.В. О некоторых особенностях массопереноса при химико-термической обработке / С.В. Заболеев-Зотов, С.Т. Семёнов, С.Т. Клышников // МиТОМ. – 1987. – № 5. – С.38-41.
2. Костылева Л.В. Влияние нестандартного температурного режима нитроцементации на насыщение стали азотом и углеродом / Л.В. Костылева, В.А. Ильинский, В.А. Локтюшин // МиТОМ. – 1984. – № 4. – С. 5-8.
3. Малинов Л.С. Химико-термическая обработка экономнолегированных мартенситостареющих сталей / Л.С. Малинов, И.К. Коротич // МиТОМ. – 1979. – № 9. – С.36-38.
4. Тарасов А.Н. Структура и свойства нитроцементованных быстрорежущих сталей / А.Н. Тарасов, А.Н. Попандопуло // МиТОМ. – 1978. – № 3. – С.56-57.
5. Криштал М.А., Цепов С.Н. Свойства сталей после высокотемпературной вакуумной цементации / М.А. Криштал, С.Н. Цепов // МиТОМ. – 1980. – №6. – С.2-7.
6. Банных О.А., Будберг П.Б., Алисова С.П. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: Справочник / О.А. Банных, П.Б. Будберг, С.П. Алисова. – М.: Metallurgia, 1986. – 440с.
7. Козлов Э.В. Фазовый состав и градиентная структура нитроцементованной стали 20X2H4A после низкого отпуска / Э.В. Козлов, Н.А. Попова, В.А. Малиновская. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2005. – № 8. – С.26 -29.
8. Seltzer M. // Met. Trans / M. Seltzer. – 1972. – V.3, №12. – P. 118-121.

**ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА  
ПРЕДПРИЯТИЯХ**

УДК 330.133.2 : 336.132.1

С.Г. Галевский

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ДОБАВЛЕННАЯ СТОИМОСТЬ КАК ИНСТРУМЕНТ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПАНИЕЙ

В данной работе рассмотрен финансовый показатель «экономическая добавленная стоимость» (EVA) и производные от него показатели. Приведены методики расчета EVA, а также трактовка различных значений данного показателя. Рассмотрены такие сферы его применения, как управление компанией, оценка стоимости бизнеса и мотивация персонала.

Financial index Economic Value Added (EVA) and derived from it indices are considered at this research effort. Computational procedure of EVA and treatment of its different values are adduced. Besides, areas of its application such as company's management, cost estimating and staff motivation are considered.

В современных рыночных условиях, характеризующихся нестабильностью общей экономической конъюнктуры и ужесточением конкуренции, оперативное и обоснованное принятие решений становится жизненно необходимо как для менеджеров компаний, так и для инвесторов. Соответственно, обостряется проблема поиска и выбора финансовых показателей, достоверно отражающих результаты хозяйственной деятельности предприятия и способных служить базой для принятия эффективных управленческих решений. При этом классическим финансовым показателям (показатели рентабельности, прибыль на акцию, мультипликатор цена акции\чистая прибыль), рассчитанным на основе бухгалтерских данных, присущ ряд неустранимых недостатков.

Во-первых, при помощи законных бухгалтерских приемов можно искусственно увеличить или уменьшить размер отражаемой прибыли.

Во-вторых, бухгалтерские показатели не отражают временную стоимость денег и риски инвесторов.

Кроме того, эмпирические исследования показали недостаточную корреляцию между значениями данных показателей и рыночной стоимостью акций компании, что делает их практически неприемлемыми для оценки эффективности инвестиционных проектов.

Для устранения обозначенных недостатков в 80-х гг. XX века были предложены такие показатели, как «денежный поток» (Cash Flow – CF) и «свободный денежный поток» (Free Cash Flow – FCF). Однако FCF полностью игнорирует стоимость долга компании, что снижает его ценность для инвесторов, а, кроме того, он не пригоден для оперативного и текущего управления компанией, что ограничивает сферу его применения менеджментом фирмы [1, 2].

С недостатками классических показателей и показателей денежного потока, а также со смещением ориентиров на показатели стоимости, связано появление такого показателя, как «экономическая добавленная стоимость» (Economic Value Added – EVA). Данный показатель был разработан американской компанией Stern Stewart & Co. Журнал Fortune 30 сентября 1993 года назвал его «самым горячим финансовым продуктом» и «подлинным ключом к созданию богатства» [3]. В настоящее время его используют известные компании как в США, так и в других странах, что обусловлено следующими достоинствами данного показателя:

1) EVA предоставляет возможность использовать наибольший объем информации из бухгалтерского учета;

2) EVA дает оценку стоимости компании с учетом фактора риска.

Научные исследования показали наличие корреляции между EVA и рыночной стоимостью акций компании. Беннет Стюарт (G. Bennett Stewart), изучив данное соотношение среди 618 американских компаний, пришел к выводу, что корреляция между EVA и рыночной стоимостью присутствует и особенно ярко выражена среди американских компаний (данные на конец 1980-х гг.).

Существует два основных способа расчета показателя EVA [4]:

1)  $EVA = \text{Прибыль после выплаты налогов (Net Operating Profit Adjusted Taxes – NOPAT)} - \text{Средневзвешенная стоимость капитала (Cost of Capital – CC)} * \text{Инвестированный капитал (Invested Capital – IC)}$ .

2)  $EVA = (\text{Норма прибыли (Rate of Return – RR)} - \text{Стоимость капитала (Cost of Capital – CC)}) * \text{Инвестированный капитал (Invested Capital – IC)}$ .

На практике, чтобы избежать появления у показателя EVA недостатков, присущих классическим показателям, рекомендуется для осуществления расчетов переводить данные бухгалтерского учета в экономические показатели. Авторы модели Д. Стерн и Б. Стюарт определили список поправок, включающий 164 статьи и являющийся коммерческой тайной авторов. Однако в среднем компании, использующие EVA, применяют лишь около 10 из них [5].

Так, инвестированный капитал (IC) рассчитывается на основе бухгалтерского баланса, скорректированного при помощи следующих поправок:

1) Из суммарных активов выделяются активы, не используемые в операционной деятельности.

2) Исключаются чрезвычайные статьи.

3) Активы уменьшаются на величину привлеченного капитала, по которому не выплачиваются проценты. Как правило, на практике это означает уменьшение инвестированного капитала на величину краткосрочных обязательств за исключением краткосрочных кредитов (задолженность перед поставщиками и подрядчиками, перед персоналом по оплате труда и т.п.).

4) Положительная деловая репутация учитывается по первоначальной стоимости.

5) Стоимость взятого в лизинг имущества включается в инвестированный капитал.

6) Производится переоценка имущества (активы отражаются как разница их восстановительной стоимости и начисленной амортизации).

Те активы компании, которые используются централизованно, например, общие здания, телекоммуникации и т. д., при расчете показателя EVA для отдельных подразделений также должны включаться в инвестиционный капитал в объеме, пропорциональном степени их использования данным подразделением.

Величина прибыли после выплаты налогов (NOPAT) может быть рассчитана, исходя из данных отчета о прибылях и убытках, при помощи следующих поправок:

$$\text{NOPAT} = \text{Чистая прибыль до налогообложения} + \text{Проценты к уплате} + \text{Проценты по лизинговым платежам} + \text{Амортизация положительной деловой репутации} - (\text{Прибыль от имущества, не используемого в операционной деятельности} - \text{Расходы на имущество, не используемое в операционной деятельности}) - \text{Сумма уплаченных налогов.}$$

Если показатель EVA рассчитывается для отдельного бизнес-подразделения, необходимо обратить внимание на себестоимость продукции или услуг, которая вычитается из прибыли при расчете NOPAT. Себестоимость продукции или услуг подразделения состоит из прямых и косвенных затрат на производство, то есть затрат всей компании на поддержание деятельности этого подразделения, например, аренду офисного здания, административный ресурс и т. д. Такие расходы необходимо распределить на подразделения пропорционально степени их использования, например, исходя из доли оборота подразделения в суммарном обороте компании, или валовой прибыли, или доли зарплаты основных производственных рабочих в общем объеме фонда оплаты труда и т. д. Однако если доля косвенных затрат велика, то пропорциональное распределение косвенных затрат приведет к некорректной величине себестоимости.

При определении стоимости капитала (СС) многие компаний исходят из средневзвешенной стоимости капитала (Weighted average cost of capital - WACC), определяя при этом стоимость собственного капитала по формуле модели CAPM (Capital Assets Pricing Model):

$$CC = r_f + b * (r_m - r_f),$$

где  $r_f$  – безрисковая ставка доходности, %;  $b$  –  $\beta$ -коэффициент для соответствующей компании или отрасли;  $(r_m - r_f)$  – премия за рыночный риск.

Однако наиболее простым способом является определение стоимости капитала компании на основе экспертных оценок, то есть оценок топ-менеджеров, акционеров, инвестиционных аналитиков и т. п. В то же время этот способ и самый ненадежный и субъективный, поэтому при его использовании необходимо выбирать наиболее осторожные прогнозы.

Основная идея, характеризующая целесообразность использования EVA для управления компанией, состоит в том, что инвесторы (в т. ч. и собственники компании) должны получить норму возврата за принятый риск. Другими словами, капитал компании должен зарабатывать, по крайней мере, ту же самую норму возврата, как и схожие инвестиционные риски на рынках капитала. Таким образом, положительное значение EVA характеризует эффективное использование капитала (более эффективное, чем в среднем по рынку), значение EVA, равное нулю, характеризует определенное достижение, так как инвесторы фактически получили норму возврата, компенсирующую принятый риск, а отрицательное значение EVA характеризует неэффективное использование капитала.

В макроэкономическом масштабе производительность капитала – фактор, оказывающий наибольшее влияние на экономику, и, как следствие, на рост ВВП. Чем более производителен капитал, тем больший рост ВВП получает страна. Следовательно, достижение максимально возможного положительного значения EVA является не только положительным фактором для акционеров и инвесторов в рамках управления стоимостью компании, но и в более широкой перспективе – для всей экономики. Практически данный момент характеризует возможность перераспределения капитала из отраслей с меньшим значением EVA в отрасли с более высоким значением.

Управление компанией с помощью показателя EVA строится на выявлении факторов, способствующих его увеличению. Рост EVA может быть достигнут за счет роста прибыли (NOPAT), или же за счет уменьшения величины капитала (IC) и его стоимости (CC) (рисунок).

Для увеличения NOPAT необходимо, в первую очередь, увеличивать оборот компании и снижать издержки – как прямые, так и косвенные. Как правило, это является основной задачей менеджмента российских компаний.

Управление стоимостью капитала также представляет собой привычную деятельность финансовых служб российских организаций. В большинстве случаев она сводится к работе с кредиторами (преимущественно банками) по привлечению более дешевых кредитов и займов. Однако в последнее время, все больше компаний выходят на рынок публичных заимствований, выпуская облигационные займы и даже прибегая к IPO. В связи с этим возникает задача оптимизации структуры капитала и соблюдения равновесия между стоимостью собственных и заемных средств. Так, зачастую привлечь заем оказывается дешевле, чем использовать собственные средства.

Задача минимизации задействованных активов является достаточно новой для менеджеров российских компаний. Для оптимизации объема инвестированного капитала необходимо сотрудничать с наиболее надежными контрагентами (как поставщиками – для минимизации страховых запасов сырья, материалов и т. д., так и покупателями – для минимизации объема дебиторской задолженности), переходить на более агрессивную политику управления запасами и денежными средствами и управлять дебиторской задолженностью. При этом следует сдерживать рост бизнеса, требующего больших вложений капитала, и инвестировать в направления, которые требуют меньше средств.



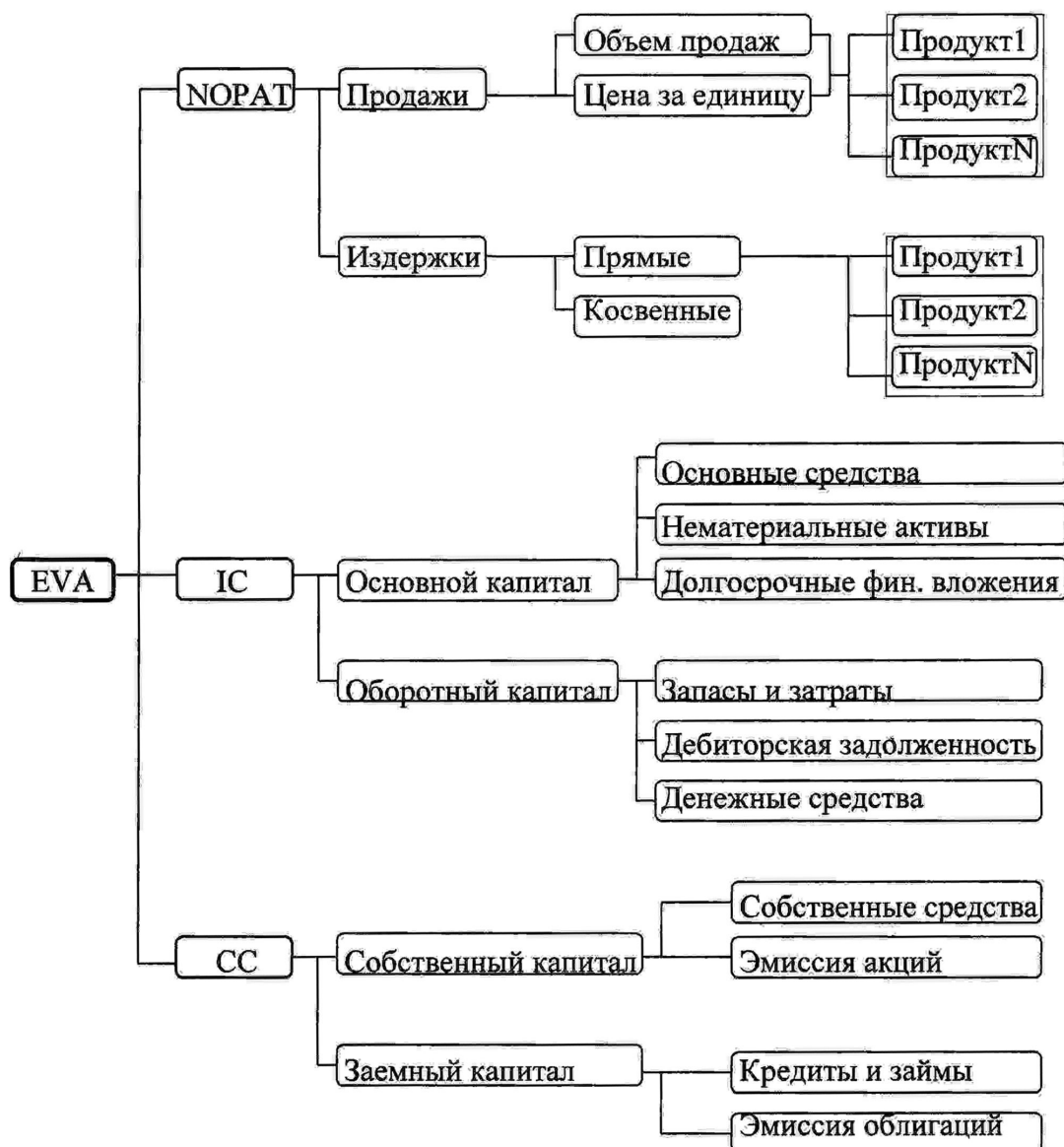


Рисунок – Схема управления компанией при помощи показателя EVA

Одной из важнейших проблем, которые возникают при решении задач управления с помощью EVA, является определение соотношения между прибыльностью компании и требуемым ростом бизнеса. Дело в том, что высокое значение EVA и высокие темпы роста – разнонаправленные величины. Чем быстрее растет бизнес, то есть чем больше прибыли реинвестируется, тем ниже будет показатель экономической добавленной стоимости.

Для решения этой проблемы необходимо грамотное стратегическое управление компанией. При разработке стратегии всегда определяются приоритеты компании на данном этапе ее развития. С точки зрения концепции EVA эти приоритеты должны выражаться в определении допустимых границ данного показателя. При принятии стратегии роста значение EVA в течение определенного периода может

быть отрицательным, однако при этом нельзя допускать потери стабильности бизнеса. Экономическая прибыль, равная нулю, в этом смысле является ставкой, уравнивающей интересы акционеров и уровень инвестиций.

При использовании показателя EVA для сравнения между собой различных компаний или инвестиционных проектов возникают ограничения, связанные с его абсолютным выражением. В связи с этим были разработаны относительные показатели, применимые для сравнения неоднородных объектов.

Одним из основных относительных показателей, основанных на показателе EVA, является стоимостной спрэд [6].

Стоимостной спрэд =  $EVA/IC = (NOPAT - CC*IC)/IC = (NOPAT/IC) - (CC*IC)/IC = R_{IC} - CC$ ,

где  $R_{IC}$  – рентабельность инвестированного капитала.

Величина стоимостного спреда является основой для измерения прибыльности капитала, скорректированной на величину риска. С помощью этого показателя можно сравнивать, в отличие от, например, показателей рентабельности, компании, различные по размеру, структуре капитала и степени риска.

Поскольку показатель EVA представляет собой дополнительную стоимость, созданную компанией в ходе ведения ею своей деятельности, то вполне логичным представляется его применение для оценки стоимости бизнеса. Однако положительная величина достигнутого значения EVA необязательно означает увеличение стоимости компании. Снижение стоимости бизнеса может произойти, если увеличение показателя EVA в отчетном периоде было достигнуто в качестве приоритетной цели, в ущерб развитию компании в долгосрочном периоде. Также возможна ситуация, когда показатель EVA увеличивается, но при растущих капитальных затратах – например, в результате увеличения риска деятельности компании. При пересчете будущих значений показателя EVA в текущую стоимость может произойти снижение приведенной стоимости будущих EVA и, тем самым, снижение стоимости бизнеса.

Следовательно, при оценке стоимости компании нельзя ограничиваться достигнутым значением показателя EVA, необходимо прогнозировать его будущую величину. В этом случае стоимость компании может быть рассчитана по формуле:

Стоимость компании = Ранее инвестированный в компанию капитал + Приведенная стоимость прогнозируемых EVA (от текущих

активов – assets in place)+ Приведенная стоимость возможных EVA по будущим проектам (от будущих активов – future assets)

или

$$V_{EVA} = IC + [\sum_{i=1}^n EVA_{i, aip}/(1+CC)^i + EVA_{post, aip}/(1+CC)^n] + \sum_{j=1}^x [\sum_{i=1}^n EVA_{i, fa}/(1+CC)^i + EVA_{post, fa}/(1+CC)^n],$$

где  $V_{EVA}$  – стоимость компании, оцененная на основе показателя EVA;  $n$  – продолжительность прогнозного периода, в годах;  $EVA_{i, aip}$  – добавленная стоимость, заработанная компанией в  $i$ -м году от имеющихся активов;  $EVA_{post, aip}$  – добавленная стоимость, заработанная компанией в постпрогнозный период от имеющихся активов;  $x$  – количество новых проектов, осуществляемых компанией в прогнозный период;  $EVA_{i, fa}$  – добавленная стоимость, заработанная компанией в  $i$ -м году от будущих активов;  $EVA_{post, fa}$  – добавленная стоимость, заработанная компанией в постпрогнозный период от будущих активов.

Значения EVA, используемые для расчета  $V_{EVA}$ , основываются на постатейном прогнозе баланса и допустимых параметров элементов дерева решения с учетом специфики деятельности конкретного предприятия. Варьируя их для различных сценариев деятельности, следует выбирать вариант с максимальной величиной  $V_{EVA}$ . Решение данной задачи существенно усложняется для многопродуктового производства и при множестве взаимосвязанных деловых единиц внутри корпорации.

Для эффективного управления компанией при помощи показателя EVA необходимо, чтобы все менеджеры, которые могут влиять на величину добавленной стоимости, понимали, какие из действий приведут к положительному результату, а какие – к отрицательному. Стимулировать сотрудников к увеличению добавленной стоимости можно, используя соответствующую систему мотивации. В увеличении EVA следует заинтересовать в первую очередь генерального директора и топ-менеджеров, то есть сотрудников, которые могут максимально влиять на этот показатель. Увязывать вознаграждение низших менеджеров и рядовых сотрудников со значением показателя EVA, как правило, не имеет смысла, так как затраты на расчет степени их влияния на общий показатель добавленной стоимости будут выше, чем сама премия [7]. При этом анализ показателя EVA и его изменений по данным отчетности предыдущих периодов дает точечные оценки эффективности управления, что также указывает на целесообразность его применения в системе поощрения менеджеров. Для этого могут применяться следующие схемы [8].

1) Схема, основанная на линейном росте переменной части текущего финансового результата (EVA):

$$\text{Вознаграждение} = k * \text{EVA},$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности.

2) Схема, основанная на росте показателя EVA:

$$\text{Вознаграждение} = k_1 * \text{EVA} + k_2 * \Delta \text{EVA},$$

где  $k_1, k_2$  – коэффициенты пропорциональности ( $k_1 \ll k_2$ ).

В случае если перед компанией стоит задача достижения ряда нефинансовых показателей при сохранении положительной динамики основной деятельности, то целесообразно применение схемы, называемой «плата за реализацию ожиданий».

Вознаграждение = Целевой бонус \* Коэффициент выполнения нефинансовых показателей + Превышение EVA над ожидаемым уровнем \* Коэффициент участия.

Также возможно использование EVA в качестве целевого показателя при опционной трактовке переменной части вознаграждения менеджера.

Одним из основных преимуществ применения показателя EVA в качестве базового при построении системы мотивации персонала является объединение интересов акционеров и менеджеров по эффективному использованию капитала. При использовании традиционной системы показателей, основанных на объеме и прибыли, менеджеры, как правило, абсолютно не задумываются о балансе своего центра прибыли (капитале, вложенном в данный бизнес). Так, например, широко применяемым критерием поощрения менеджеров подразделений является рентабельность инвестиций (ROI). В этом случае менеджер подразделения с низким значением ROI будет стараться реализовать любой инвестиционный проект, позволяющий хотя бы немного поднять рентабельность инвестиций (почти не учитывая при этом значение чистой настоящей стоимости, NPV, общую величину необходимых капитальных вложений и срок окупаемости проекта). Менеджер подразделения с высоким ROI, наоборот, будет проявлять некоторый консерватизм из-за опасения снижения этого показателя. Ситуация, когда менее прибыльные подразделения «агрессивно» инвестируют, в то время как наиболее успешные инвестируют слишком осторожно, очевидно, нежелательна для собственников компании. А вот схемы расчета вознаграждения на основе показателя EVA заставляет менеджеров управлять размерами и стоимостью инвестируемого капитала, в чем также заинтересованы и акционеры.

Вместе с тем, премиальную систему основывать на EVA нецелесообразно, в случае, когда компания или ее подразделение относится к новой растущей сфере бизнеса со значительными инвестициями в будущие денежные потоки и малой текущей прибылью.

Показателю EVA присущ ряд бесспорных достоинств, основными из которых являются:

- 1) относительная простота расчета и использования;
- 2) применяется в качестве сигнала об ухудшении финансового положения (при отрицательном значении EVA), так как уменьшение EVA с опережением показывает уменьшение чистой прибыли;
- 3) отражает альтернативный подход к концепции прибыльности (переход от расчета рентабельности инвестированного капитала, ROI, измеряемой в процентном выражении, к расчету экономической добавленной стоимости, измеряемой в денежном выражении);
- 4) используется как основа для построения эффективной системы корпоративного поощрения работников, участвующих в процессе создания добавленной стоимости;
- 5) внедрение данного показателя позволяет лучше обосновывать необходимость (или отсутствие таковой) принятия стратегических решений (участие в новых инвестиционных проектах, слияния и поглощения и т. д.);
- 6) помогает принимать решения о структуре собственного и заемного капитала (часто рост собственного капитала обходится фирме дороже, чем привлечение заемных средств);
- 7) стимулирует компании пересматривать различные статьи активов в составе инвестированного капитала (уменьшение завышенных статей в используемом капитале повышает положительное значение EVA).

Однако необходимо помнить и его недостатки, к которым можно отнести:

- 1) показатель EVA рассчитывается на основе исторических данных деятельности фирмы, поэтому невозможно достоверно оценить влияние текущей корпоративной политики на будущую стоимость компании;
- 2) на величину показателя EVA существенно влияет первоначальная оценка инвестированного капитала (если она занижена, то созданная добавленная стоимость высокая, если завышена, то, наоборот, низкая);
- 3) выбор каждой конкретной компанией ряда корректировок при расчете величины инвестированного капитала привносит в расчеты

дополнительный субъективизм и может привести к неадекватному отражению реальной рыночной ситуации;

4) стремясь к улучшению данного показателя или сохранению его значения, менеджеры могут отказываться от капитального обновления предприятия, так как большие финансовые вложения неизбежно увеличивают стоимость капитала.

Подводя итог, следует сказать, что показатель EVA служит индикатором качества управленческих решений и позволяет провести оценку эффективности как предприятия в целом, так и отдельных его подразделений или инвестиционных проектов. При этом он может быть рассчитан на основе бухгалтерской отчетности и не требует для своего применения разработки и внедрения сложной системы управленческого учета. Сочетание глубины анализа и многофункциональности с относительной простотой использования привело к тому, что на данный момент экономическая добавленная стоимость является одним из самых известных и распространенных финансовых показателей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коршикова А.Ю. Эволюция системы аналитических показателей деятельности организации / А.Ю. Коршикова // Экономический анализ. – 2003. – № 12. – С. 73-84.

2. Коршикова А.Ю. Эволюция системы аналитических показателей деятельности организации (окончание) / А.Ю. Коршикова // Экономический анализ. – 2004. – № 1. – С. 77-88.

3. Щербакова О.Н. Методы оценки и управления стоимостью компании, основанные на концепции экономической добавленной стоимости / О.Н. Щербакова // Финансовый менеджмент. – 2003. – № 3. – С. 46-54.

4. Гусев А.А. Показатели добавленной стоимости / А.А. Гусев // Ваш партнер – консультант. – 2006. – № 12. – С. 31.

5. Гусев А.А. Концепция EVA и оценка эффективности деятельности компании / А.А. Гусев // Финансовый менеджмент. – 2005. – № 1. – С.57-66.

6. Рассказов С.В. Стоимостные методы оценки эффективности менеджмента компании / С.В. Рассказов, А.Н. Рассказова // Финансовый менеджмент. – 2002. – № 3. – С. 71-80.

7. Хабаров М. Управление компанией с помощью EVA / М. Хабаров // Финансовый директор. – 2004. – № 2. – С. 12-22.

8. Теплова Т.В. Ситуационный финансовый анализ: схемы, задачи, кейсы [Текст]: Учеб. пособие для вузов / Т.Н. Теплова, Т.И. Григорьева. – М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2006. – 605, [3] с.

УДК 658.7:669.015

О.А. Стародумова, В.В. Черкасова

Новокузнецкий филиал-институт ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет», г. Новокузнецк

## ОРГАНИЗАЦИЯ СБЫТА МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ: МИРОВОЙ ОПЫТ И РОССИЙСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ

Выполнен анализ форм организации сбыта металлопродукции. Установлены отличительные особенности организации сбыта металлопродукции при различных способах хозяйствования. Определены перспективные направления развития сбыта продукции Российскими металлургическими предприятиями

The analysis of forms of the metal products selling organization is executed. Distinctive features of the metal products selling organization at various ways of managing are established. Perspective tendencies of production selling development by the Russian metallurgical enterprises are determined.

Мировой опыт доказал, что конкурентоспособность металлургических предприятий в значительной степени зависит от организации сбыта готовой продукции. Организация сбыта металлопродукции в России развивается со значительным отставанием от современных форм и методов, используемых в развитых странах с рыночной экономикой. В качестве основной причины отставания научно-технического прогресса в сбытовой деятельности многие экономисты называют отсутствие рыночного механизма конкуренции. Однако с переходом на рыночные отношения резкого скачка в развитии сбытовой деятельности предприятий металлургической отрасли в нашей стране не наблюдается.

Анализируя организацию сбыта металлопродукции в России, можно выделить некоторые специфические тенденции, характерные для различных периодов развития отечественной экономики.

В период плановой экономики сбыт металлопродукции осуществлялся централизованно на жестком нормативном распределительном принципе через территориальные органы Госснаба. Работала система лимитирования и централизованного прикрепления поставщиков к потребителям. Металлургические предприятия не занимались поиском покупателей, анализом рынка металлопродукции, их сбытовая

деятельность сводилась к исполнению директивных указаний по распределению готовой продукции. Большая часть производимой металлопродукции распределялась путем прямых поставок потребителям в виде транзитных грузов. Остальная часть проката «проходила» через металлобазы Госснаба СССР. Построенные по указанию Госснаба специальные металлобазы, выполняли в основном операции по разукрупнению транзитных партий, подбору по сортаменту и требуемому количеству с целью дальнейшей отправки металлопродукции на склады республиканских, областных и районных отделений.

После распада централизованной системы управления и распределения в начале 1990-х гг. сфера организации металлоторговли в России претерпела качественную трансформацию. Ликвидация Госснаба привела к разрыву существовавших ранее хозяйственных связей. Металлургические предприятия столкнулись с множеством проблем: необходимостью поиска новых схем сбыта, учитывающих независимость производителей, организации юридически грамотной договорной работы, необходимостью изучения рынка металлопродукции, что оказалось абсолютно новым делом для большинства хозяйствующих субъектов. Информационный вакуум в этот период восполнили биржи. Однако уже в 1994-1995 гг. практически все российские товарные биржи прекратили свое существование. Между производителем и потребителем металлопродукции возникла череда металлоторговцев.

После ликвидации Госснаба государственные металлобазы были приватизированы, на их основе организованы многие известные сегодня металлоторговые компании, которые взяли на себя функцию организации сбыта металлопродукции. Функции этих фирм в начале сводились только к посреднической деятельности.

Реорганизация металлоснабжения привела к организации независимых коммерческих компаний. Часть этих компаний была включена в систему «Росконтракт». Промышленные предприятия самостоятельно формировали каналы распределения продукции через дилерские пункты, имеющие самостоятельный юридический статус и эксклюзивные права по реализации продукции в закрепленном регионе. Эти пункты располагались в регионах размещения крупных потребителей продукции. Реализация металлопроката осуществлялась также через консигнационные склады мелкими партиями. В пореформенный период рынок металлов становился с каждым годом все более организованным, развивались новые формы ведения бизнеса,



связанного с продвижением (дистрибьюцией) металлопродукции от металлургического комбината или завода до конечного потребителя.

В 1997 году рядом крупных торговых и снабженческо – сбытовых организаций, металлургических предприятий была учреждена некоммерческая организация «Российская ассоциация металлоторговцев» (ныне – «Российский союз поставщиков металлопродукции»), задачами которой является координация деятельности ее членов, защита интересов внутри страны и за рубежом, содействие металлургам в сбыте продукции, внедрение в российскую практику современных форм металлоторговли.

В настоящее время в России используются следующие формы организации сбыта металлопродукции:

- прямые поставки от предприятий - изготовителей;
- поставки металлопродукции от металлургических предприятий через собственную сбытовую сеть (торговые дома);
- независимые металлоторговые компании – сервисные металлобазы и сервисные металлоцентры. [1]

В России на сегодняшний день через металлоторговую отрасль проходит 25-30 % отгружаемой на внутренний рынок металлопродукции. Бизнес структуры, занимающиеся поставками металла (как производители, так и металлотрейдеры), диверсифицируют свои виды деятельности. Например, компания занимается производством продукции и трейдингом или трейдингом и переработкой металла. Так же имеет место территориальная диверсификация в форме проникновения компаний в различные регионы страны. [1]

В отечественной металлоторговле наибольшее развитие получила форма сервисных металлобаз (СМБ), которая предлагает осуществление поставок металла с сопутствующей универсальной обработкой (резкой, рубкой, профилегибкой). Клиентами СМБ являются строительные и машиностроительные компании, предприятия ЖКХ. Ассортимент продукции достаточно широк: от листового и сортового проката до труб и метизов. Основными показателями эффективности работы являются мобильность в формировании заказа, скорость поставки, широта ассортимента, тогда как качественная и ценовая стороны играют меньшую роль. [2]

Наряду с СМБ, в России завоевывает популярность новая форма организации металлосбыта – сервисный металлоцентр (СМЦ). Формирование отрасли СМЦ длится уже несколько лет. В последние годы введено в эксплуатацию несколько СМЦ: в 2002 г. их насчитывалось около десятка, в 2006 – около двухсот. В ближайшее десятилетие на-

мечается широкое распространение такой формы металлоторговли. По прогнозам различных источников, спрос на услуги СМЦ будет расти ежегодно на 5-7 %. [1,2]

Основными клиентами СМЦ будут машиностроительные отрасли (автомобилестроение, производители бытовой техники), главным образом – средние предприятия, с которыми металлургическим предприятиям невыгодно работать на прямую. В ассортименте продукции – в основном листовой прокат. Для СМЦ характерна более узкая и глубокая специализация в сравнение с СМБ, а так же интеграция в производственно-технический процесс потребителя. Основные показатели эффективности работы – система качества поставок, в том числе ритмичность, качество продукции и услуг. [2]

Обобщая выше рассмотренные тенденции, можно отметить, что новые условия хозяйствования и ужесточающаяся конкуренция на рынке металлопродукции способствуют внедрению инноваций в организацию сбыта металлопродукции в России, но отставание от развитых стран в данной области остается по – прежнему значительным. В России доля стального проката, проходящего первичную обработку в металлосервисной сети, составляет всего 1 % (в США – 44 %, во Франции – 40 %, в Великобритании – 19 %). Отставание во времени развития рынка СМЦ составляет 20 лет от Западной Европы, что связано в основном с низкими темпами развития потребляющих отраслей (автомобилестроения, машиностроения, производства бытовой техники).

Зарубежный сервисный металлоцентр – это предприятие, которое занимается высокоточной доработкой металлопродукции и интегрировано в производственный цикл машиностроительного предприятия (или нескольких таких предприятий), осуществляет поставку «точно в срок», обеспечивая, таким образом, непрерывность производственного цикла.

Примеров таких предприятий на российском рынке пока не обнаружено [3].

В нашей стране на сегодняшний день существуют разные типы компаний, сфера деятельности которых близка к определению «сервисный металлоцентр», но объемы этого сервиса и степень обработки металлов не соответствует мировым стандартам. В традиционном понимании сервисный металлоцентр – это металлоторговая компания, значительная доля прибыли которой обеспечивается за счет выполнения услуг по обработке металла (как реализуемого, так и двальческого). Количество таких предприятий невелико, и объемы подобных ус-

луг в масштабах всего рынка пока весьма незначительны. В наибольшей степени распространены компании, оказывающие незначительные объемы относительно простых услуг по доработке (размотка рулонов и бухт, поперечная резка и пр.), а также осуществляющие доставку своим транспортом при основной деятельности исключительно в сфере торговли, занимающей более 97-98 % оборота. Очевидно, что подобные компании вряд ли могут быть отнесены к сервисным металлоцентрам.

Таким образом, Российская система сбыта металлопродукции на современном этапе еще не может организовать весь комплекс логистических услуг в рамках появляющихся СМЦ. Одна из основных задач СМЦ на современном этапе развития отечественной экономики – замещение громоздких и убыточных заготовительных производств, характерных для крупных предприятий металлургии и машиностроения, то есть внедрение в российскую практику модели аутсорсинга, давно и успешно работающей в странах с развитым рынком. Изучение положительных тенденций и опыта в организации сбыта металлопродукции в России и за рубежом может существенно повысить эффективность организации сбытовой деятельности металлургических предприятий в современных условиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Халудоров Т. Кладите яйца в разные корзины / Т. Халудоров. // Металлоснабжение и сбыт. – 2006. – № 10. – С. 36-38.
2. Бунакова В. Нежный возраст / В. Бунакова // Металлоснабжение и сбыт. – 2007. – № 1. – С. 38-43.
3. Завязкин В. След в след / В. Завязкин // Металлоснабжение и сбыт. – 2006. – № 6. – С. 100-102.
4. Итоги конкурса «Лучшая металлобаза России 2004». По материалам аналитической службы Института сервисных металлоцентров // Металлоснабжение и сбыт. – 2004. – № 12. – С. 47-50.

УДК 338 (075.8)

В.А. Быстров\*, Н.Ю. Грекова, О.Г. Трегубова

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

\*Новокузнецкий филиал-институт ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет», г. Новокузнецк

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ГОТОВОГО ПРОКАТА КАК ОСНОВЫ ЕГО КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

В работе рассмотрены инновационные проблемы повышения качества и конкурентности металлургической продукции за счет упрочнения сменного прокатного оборудования композиционным сплавом электрошлаковой наплавкой.

The innovation problems of quality growth and competitiveness metallurgical production with strengthening by composition alloy make with to use the electroslag building-up of rolling mill equipment parts surveyed in this paper.

В процессе инновационной деятельности современное металлургическое предприятие может повысить эффективность работы, лишь четко ориентируясь на производственный процесс и руководствуясь полным учетом воздействия факторов внешней и внутренней среды. Для этого необходима подробная классификация инноваций, их свойств и возможных путей разработки и применения наиболее перспективных технических решений. Наиболее характерными показателями нововведений являются такие показатели, как абсолютная и относительная новизна, приоритетность и прогрессивность, конкурентоспособность, адаптивность к новым условиям хозяйствования, способность к модернизации, а также показатели экономической эффективности, экологической безопасности и пр. Все эти показатели новшества являются составляющими технико-организационного уровня нововведения и его конкурентоспособности. Их значимость определяется по степени влияния этих факторов на конечные результаты деятельности предприятия: на себестоимость продукции, ее качество, объем продаж и прибыли; уровень рентабельности хозяйственной деятельности. Показатели технического уровня новшества определяют технический уровень производства в

целом, формируют качество продукции, а следовательно, её конкурентоспособность.

На сегодняшний день проблема качества для любого хозяйствующего субъекта рассматривается как стратегическая проблема, решение которой обеспечивает превосходство в бизнесе. Низкое качество продукции является существенной причиной нежизнеспособности предприятия, поэтому качество следует характеризовать как экономическую категорию, в значительной степени формирующую такие экономические показатели работы, как себестоимость, цена, прибыль, рентабельность.

Но для того, чтобы получить желаемый результат, необходимо затратить определенные средства, при этом стремясь к тому, чтобы показатели эффективности работы были наивысшими, а затраты на недобавляющие ценности процессы минимальными. Поэтому затраты, связанные с качеством, можно считать измерителем экономических последствий, вызванных выполнением или невыполнением требований к качеству продукции.

Затраты, связанные с качеством – это разница между фактической себестоимостью, и ее возможной стоимостью, определенной при условии отсутствия случаев возникновения несоответствий (дефектов и брака), выявляемых в процессе изготовления или после поставки продукции потребителю. Регулирование затрат, связанных с качеством, является инструментом, позволяющим решать задачи повышения качества продукции с учетом обеспечения требуемой прибыльности работы организации. Для этой цели все затраты, связанные с качеством разделяют на следующие элементы:

- инвестиции, направляемые на предупреждение несоответствия уровня качества продукции предъявленным требованиям (расходы на предупреждение дефектов);
- затраты на оценку соответствия продукции установленным требованиям (расходы на оценку и контроль);
- дополнительные затраты, вызванные выявленными несоответствиями (потери от дефектов и брака).

Причем, соответственно стандарту ИСО 9004, затраты, связанные с предотвращением несоответствий, и затраты на контроль или оценку соответствия считаются «капиталовложениями», а затраты на устранение ошибок – «убытками».

Доля каждой составляющей в общей сумме затрат, связанных с качеством, различна и находится в обратной зависимости от общей суммы затрат на производство и реализацию продукции.

Затраты на предупреждение несоответствий – стоимость любых действий, специально предусмотренных для предотвращения низкого уровня качества продукции. Например, стоимость анализа новой продукции, планирование ее качества, обследования возможностей поставщиков, оценки воспроизводимости производственных процессов, стоимость реализации проектов, направленных на повышение качества, затраты на подготовку и обучение специалистов в области качества, затраты на внутренние проверки.

Соотношение элементов затрат и издержек, связанных с качеством продукции, представлено на рисунке 1.

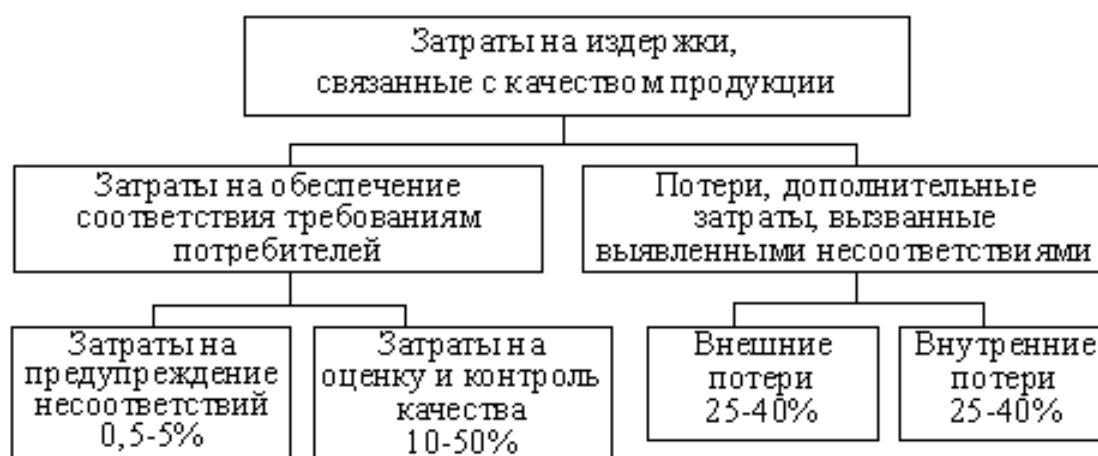


Рисунок 1 – Соотношение элементов затрат на повышение качества

Затраты на оценку и контроль уровня качества – расходы, связанные с измерениями, оценками и аудитом продукции с целью проверки их соответствия действующим стандартам качества или установленным требованиям к их параметрам. Например, затраты на входной контроль и испытания покупных материалов и оборудования; испытания и проверки готовой продукции; испытания и проверки, включенные в производственный процесс; калибровка измерительного и испытательного оборудования, а также стоимость сопутствующих материалов и изделий, требуемых для проведения указанных проверок и испытаний.

Основные элементы систем качества и требования, которым они обязаны отвечать, определяют и устанавливают стандарты ИСО серии 9000 и связанные с ними национальные стандарты. Создание системы менеджмента качества предполагает проведение оценки, систематизирования, управления, документального оформления, улучшения и надзора в отношении всех видов деятельности конкретно взятого предприятия и его работников, направленных на создание ценностей. Организацию производственной деятельности следует осуществлять,

рассматривая ее как совокупность взаимосвязанных процессов, что является одним из принципов стандартов ИСО серии 9000 (процессный подход). Следовательно, управление качеством следует рассматривать как управление качеством изготовления, исходя из необходимости снижения уровня брака и дефектов в процессе производства и минимизации отказов при использовании продукции потребителем. Таким образом, система менеджмента качества тем эффективней, чем меньше полные затраты, связанные с качеством, и, в первую очередь, затраты на исправление несоответствий, а также оптимизация затрат. Все это возможно решить в рамках системы менеджмента качества путем мероприятий по снижению дефектов и брака.

Основной принцип состоит в том, что предотвращение дефектов и брака всегда дешевле, чем поиск, обнаружение и исправление уже имеющихся дефектов и брака. Поэтому качество продукции следует планировать и создавать. Для этого результаты анализа затрат на качество должны использоваться как база для принятия решения об инвестициях в производство и планирования себестоимости продукции с целью ее совершенствования и снижения. Для этого нужны конкретные объекты, желательно постоянные.

Постоянными объектами совершенствования могут быть следующие виды потерь:

- от ремонта или отбраковки – ремонт оборудования и исправление брака продукции самые очевидные виды потерь;
  - отходы производства – в металлургической промышленности отходы неизбежны, но в таких случаях можно найти способ их переработки, минимизации и ослабить связанные с ними негативные последствия;
  - простои – они неприемлемы безотносительно к тому, чем они обусловлены: отсутствием комплектующих, отказом оборудования или невысокой стойкостью сменного оборудования, определяющего производительность крупного металлургического агрегата;
  - времени – все виды прямых или косвенных потерь времени оборачиваются материальными потерями, которые невосполнимы.
- Евросоюзе и наиболее выгодном вложении средств для повышения качества представляет собой основополагающее решение в управлении качеством и, соответственно, главный принцип управления качеством – принцип максимальной эффективности инвестиций в качество.

Одной из важнейших мер, способствующих увеличению выпуска готового проката, улучшению качества металлопродукции и снижению расходов по переделу, является повышение стойкости прокатных валков – основного рабочего инструмента прокатных станов. Статистические данные, полученные как в нашей стране, так и за рубежом, достаточно красноречивы: 6 % всей стоимости прокатного стана составляет стоимость прокатных валков; 20-25 % времени работы стана уходит на перевалки валков; в общих расходах по переделу затраты на валки по стану горячей прокатки составляют примерно 15-17 %.

Для повышения надежности и долговечности валков прокатных станов потребовались новые износостойкие наплавочные композиционные материалы (КМ), успешно работающие в условиях высокотемпературного абразивного износа. Среди известных КМ наибольшее применение получил сплав на основе релита ( $WC+W_2C$ ). Однако, дефицитность, дороговизна релита (820-960 руб./кг) и технологические затруднения наплавки КМ релит + сплав на основе железа, ввиду высокой растворимости релита в сплаве-связке, побудили исследователей искать новые безвольфрамовые КМ. Поэтому разработка электрошлаковых процессов упрочнения безвольфрамовыми КМ (спеченными твердыми сплавами на основе карбидов титана типа ТН 20) деталей оборудования, работающих в тяжелых условиях высокотемпературного износа, является весьма актуальной задачей, повышающей конкурентоспособность продукции.

Спеченные твердые сплавы на основе карбида титана типа ТН 20 обладают рядом весьма ценных свойств: высокая твердость 86-92 HRA; высокая микротвердость  $H_c = 19,5-22,0$  ГПа; величина модуля упругости составляет 445 ГПа; высокий предел прочности при сжатии  $\sigma_{сж} = 6,0$  ГПа, с достаточной прочностью на изгиб  $\sigma_{изг} = 1,2-2,5$  ГПа и на растяжение  $\sigma_v = 0,5\sigma_{изг}$ . И самое благоприятное свойство среди известных карбидов – высокая ударная вязкость 0,8-1,2 МДж/м<sup>2</sup>. Способность спеченных твердых сплавов сохранять в значительной степени указанные свойства при повышенных температурах является чрезвычайно важной характеристикой при высокотемпературном абразивном износе. В химическом отношении спеченные твердые сплавы весьма устойчивы против окисления на воздухе даже при температурах 800-900 °С, что весьма ценно при высокотемпературных способах наплавки.

Перспективы развития научных разработок заключаются в том, что разработанные способы упрочнения быстроизнашивающихся де-



талей, основанные на концентрации спеченных твердых частиц типа ТН 20 в местах интенсивного износа деталей, приводят к экономии легирующих элементов в общей массе наплавленного металла. Например, чтобы наплавить 100 кг быстрорежущей стали, содержащей 18 % вольфрама потребуется ввести в шихту более 19 кг вольфрама. Для наплавки того же количества КС на основе спеченного твердого сплава типа ТН 20 (который по износостойкости в 2-3 раза выше, а по плотности в 3,3 раза ниже вольфрама) потребуется гораздо меньшее количество легирующих компонентов, например, титана, молибдена, никеля:

$$\gamma_{Ti}^{Me} = \frac{C_{т.ч}^{КС} \cdot d_{т.ч}^{Me} \cdot \rho_{ТН20} \cdot \gamma_{Ti}^{ТН20}}{\rho_{Me} \cdot \epsilon_{КС}} \quad \%$$

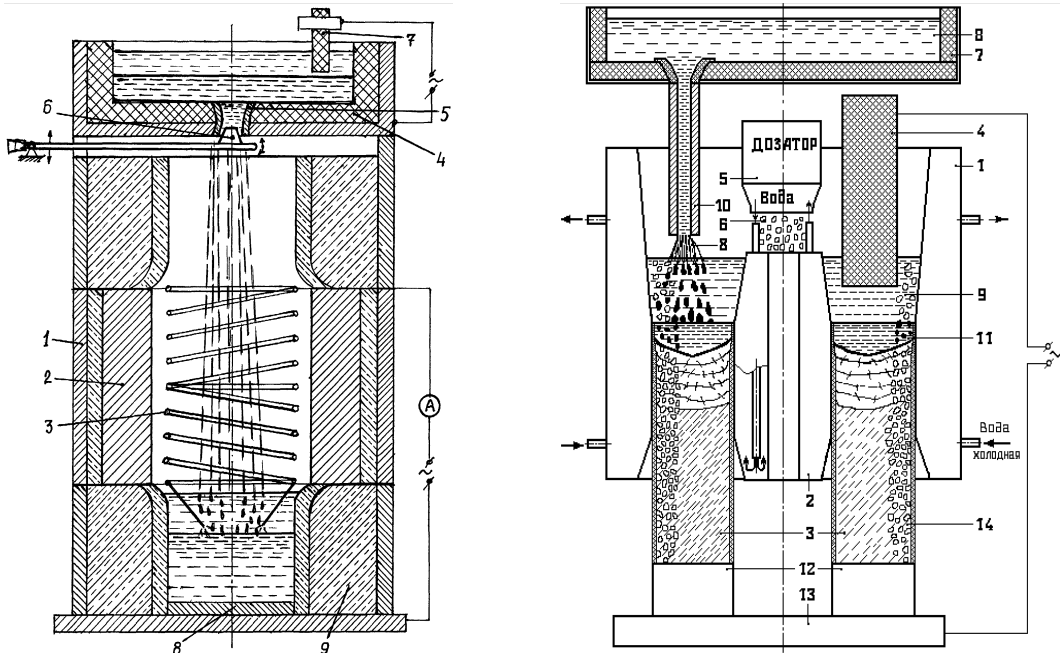
где  $\gamma_{Ti}^{Me}$  – концентрация Ti в общей массе наплавленного металла, %;  $C_{т.ч}^{КС}$  – концентрация твердых частиц в местах интенсивного износа детали;  $d_{т.ч}^{Me} = 0,2$  – доля твердых частиц в общей массе наплавленного металла;  $\rho_{ТН20} = 5,4 \text{ т/м}^3$  – плотность спеченного твердого сплава ТН 20;  $\gamma_{Ti}^{ТН20} = 72 \%$  – содержание легирующего компонента Ti, в ТН 20;  $\rho_{Me} = 7,8$  – плотность матрицы, основы наплавленного металла, т/м<sup>3</sup>;  $\epsilon_{КС} = 2$  – относительная износостойкость КС на основе ТН 20.

Т.е. получается весьма экономно легированный сплав (3,24 % Ti; 0,9 % Ni; 0,54 % Mo), что приводит к значительному экономическому эффекту при упрочнении быстроизнашивающихся деталей композиционными сплавами на основе спеченных карбидов титана типа ТН 20 (расход которых на металлургических комбинатах составляет сотни тонн).

Опытно-промышленные испытания получения бандажированных валков методом ЭШЛ (совмещенным методом заливки жидкого металла в осевое пространство с плавлением электрода-соленоида в шлаковой ванне, рисунок 2) с применением в качестве материала бандажа высокохромистого чугуна, армированного частицами спеченного твердого сплава типа ТН 20, показали повышение срока службы валков в 3-4 раза.

Скорость расплавления проволоки электрода-соленоида составила:

$$V_{\text{пл.эл}} = \frac{I_{\text{ЭШП}} \cdot \alpha_p}{(\pi \cdot d_{\text{эл.}}^2 / 4) \cdot \rho_{\text{Ме}}} = 4 \cdot 2200 \cdot 40 / (3,14 \cdot 10^2 \cdot 7,8) = 144 \text{ м/ч} = 4 \text{ см/с};$$



а) Схема ЭШЛ бандажированного валка, армированного ТН 20

б) Схема ЭШЛ бандажа, армированного твердым сплавом ТН 20

Рисунок 2 – Способ получения бандажированных валков, армированных твердым сплавом на основе ТН 20

Скорость подъема зеркала металлической ванны оси валка,  $V_{\text{п.м.в.}}$ :

$$V_{\text{п.м.в.}} = V_{\text{пл.эл}} \cdot \ell_{\text{шаг сол}} / \pi D_{\text{эл.сол}} = 40 \cdot 80 / (3,14 \cdot 270) = 4 \text{ мм/с};$$

Время заполнения осевого пространства жидким металлом  $t_{\text{зап}}$ :

$$t_{\text{зап}} = (H_{\text{вал}} - L_{\text{боч}}) / V_{\text{мах}} + L_{\text{боч}} / V_{\text{п.м.в.}} = (1800 - 800) / 20 + 800 / 4 = 250 \text{ с} = 0,07 \text{ ч};$$

Производительность процесса ЭШЛ бандажированного валка:

$$P_{\text{ЭШЛ}} = \pi D_{\text{вн}}^2 \cdot H_{\text{вал}} \cdot \rho_{\text{ст}} / (t_{\text{зап}}) = 3,14 \cdot 30^2 \cdot 180 \cdot 7,8 / (0,07) = 56708 \text{ кг/ч};$$

Удельный расход электроэнергии на 1 кг металла, полученного ЭШЛ:

$$q_{\text{уд.эл}} = I_{\text{ЭШП}} \cdot U_{\text{шл}} \cdot t_{\text{зап}} / P_{\text{ЭШЛ}} = 2200 \cdot 40 \cdot 0,07 / 56708 = 0,11 \text{ кВт. ч/кг.}$$

Следовательно, удельный расход электроэнергии нового способа ЭШЛ бандажированных валков по сравнению с ЭШП получения валков ( $q_{\text{уд.эл}} = 1,5\text{-}2 \text{ кВт. ч/кг}$ ), примерно в 14 раз меньше.

Таким образом, разработанные способы ЭШЛ бандажированных валков приводят к сокращению удельного расхода электроэнергии примерно в 14 раз, а нанесение барьерных покрытий на твердые частицы – к экономии легирующих элементов в общей массе наплавленного металла за счет предотвращения растворения твердых частиц и повышению стойкости валков в 3-4 раза. Годовой экономический эффект от применения ЭШЛ новыми КМ, повышающими срок службы деталей в 3-4 раза, составил на 1 млн. т. проката (за счет повышения срока службы прокатного стана в 2,5 раза) при действующем расходе валков 9,5 руб./т на 1 т. проката:

$$Э_r = 1000000 \times [9,5 \times (1 - 1/2,5)] = 5\,700\,000 \text{ руб./год}$$

**ВЫВОДЫ.** Применение системы управления новыми технологиями упрочнения быстроизнашивающихся деталей металлургического оборудования, и обеспечение этих технологий инновационными решениями в области создания новых КМ и способов ЭШП, позволило увеличить срок службы деталей в 3-4 раза и повысить производительность металлургических агрегатов на 6-8 %, что обеспечило получение экономического эффекта 5 700 000 руб./год за счет снижения себестоимости готовой продукции, а повышение качества продукции привело к повышению её конкурентоспособности.

УДК 658.62.018:624.014

Г.Н. Ильина, А.В. Феокистов, О.Г. Ротенберг, Д.М. Сеницын,  
А.Г. Мархина

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный  
университет», г. Новокузнецк

## РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ С ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ УПРАВЛЕНИЯ

Работа содержит выводы о целесообразности внедрения процессного подхода на предприятиях. Приводится сравнительный анализ процессно-организационной и функциональной систем управления и результаты изучения опыта по реализации процессного подхода в рамках системы менеджмента качества одного из промышленных предприятий г. Новокузнецка.

This work contains the conclusions of advisability of the processional approaches implementation on enterprises. There was carried out comparative analysis of processual organizational and functional systems results of studying the experiment on processual approaches implementation in case of quality management system one of the industrial enterprises of Novokuznetsk.

Большое количество российских предприятий на сегодняшний день активно вовлечено в создание систем менеджмента на основе процессного подхода, используя при этом собственные силы или услуги консалтинговых фирм. Выгоды для производства при внедрении процессного подхода к управлению, основанные на рассмотрении деятельности ряда зарубежных фирм, являются очевидными: достижение оперативности принятия решений, гибкости реакций на изменение спроса и действия конкурентов, снижение накладных расходов, более полная реализация своих конкурентных преимуществ, значительное сокращение времени выполнения всех операций. Опыт применения процессного подхода на российских предприятиях остается пока малоизученным.

В мировой практике процессный подход к управлению на предприятиях стал активно применяться с 80-х годов, несмотря на постоянное обсуждение в научной литературе в течение почти полувека [1].

До этого времени в мировой экономике доминировала концепция функционального менеджмента, изначально рассматривавшаяся как форма системного подхода к менеджменту.

Принципы построения функционально-ориентированной организации были сформулированы Ф. Тейлором в 1911 г. Основные идеи функциональной структуры управления следующие [2]:

- 1) разделение функций планирования (контроля) и выполнения (производства) между менеджерами и рабочими;
- 2) разделение процессов на операции, стандартизация и упрощение операций;
- 3) узкая специализация.

Реализация данного подхода позволила увеличить производительность промышленных предприятий в начале прошлого века. В современных условиях с иным уровнем технологий сложно обеспечить высокое качество при функциональном подходе. Для российских предприятий удержание позиций на национальном рынке объясняется тем, что эффективность и организация управления предприятий-конкурентов в одной отрасли примерно одинаковое, основанное на устаревшем функционально-административном способе хозяйствования [3]. При выходе на мировой рынок отечественные предприятия часто не выдерживают конкуренции с западными компаниями, ориентированными на иные формы менеджмента. В связи с этим попытки внедрения в организациях процессного подхода в последнее время стали наиболее популярными.

Анализ систем управления, основанных на процессном и функциональном подходах, приведен в таблице. Сравнение особенностей процессно-ориентированной и функциональной системы управления, а также изученный положительный опыт зарубежных компаний, позволяют сделать вывод о целесообразности реализации процессного подхода к управлению на предприятиях и организациях в различных сферах деятельности.

При выборе методики внедрения процессного подхода либо в рамках проекта по реорганизации предприятия с резким переходом от функциональной структуры управления к процессной, либо в соответствии с требованиями международных стандартов серии ИСО серии 9000 версии 2000, нацеленных на внедрение процессного подхода поэтапно с постоянным улучшением деятельности, необходимо учитывать специфику предприятия, положение в отрасли и место, занимаемое предприятием на рынке.

Таблица – Анализ процессно-ориентированной и функциональной систем управления

<b>Параметр сравнения</b>	<b>Процессный менеджмент</b>	<b>Функциональный менеджмент</b>
<b>Структура предприятия</b>	Плоская с тремя уровнями иерархии: высшее руководство, среднее звено управления, исполнители	Вертикальная с большим числом уровней иерархии
<b>Объект управления</b>	Процессы организации: основные и вспомогательные	Функциональные подразделения
<b>Организация работы</b>	Деление руководителей среднего звена на руководителей процессов и руководителей функциональных подразделений с подчинением обеих категорий непосредственно первому руководителю организации	Выполнение работ обособленными подразделениями, подчиняющимися вышестоящему уровню.
<b>Распределение ответственности</b>	Обеспечение условий для баланса полномочий и ответственности по принципу единоначалия	Нарушение принципа единоначалия из-за введения должностей заместителей, возложение ответственности за экономические характеристики конкретной работы на разные функциональные подразделения и появление областей безответственности
<b>Обмен информацией</b>	Свободная циркуляция информационных потоков по горизонтальным каналам, достижение высокой информационной проницаемости системы менеджмента	Затруднение циркуляции информационных потоков, их искажение, низкая информационная проницаемость в результате значительной самоизоляции подразделений
<b>Управление ресурсами</b>	Эффективное использование ресурсов за счет обеспечения управляемости процессов	Эффективное использование ресурсов за счет превышения совокупным результатом деятельности по управлению ресурсами отдельных подразделений
<b>Управление персоналом</b>	Вовлечение непосредственных исполнителей в выполнение и управление процессами, обеспечение высокой мотивации персонала	Отсутствие вовлеченности рядовых исполнителей в управленческую деятельность, низкая мотивация персонала
<b>Оценка эффективности работы</b>	Оценивание результатов деятельности объективно по причине введения конкретных критериев оценки эффективности процессов	Оценивание результатов деятельности субъективно и основывается на личном мнении руководителя
<b>Взаимодействие с потребителями</b>	Происходит «вытягивание» потребителями результатов процессов. Всеобщая ориентация на требования потребителей	Происходит «толкание» продукции от производителя потребителю. Слабая ориентация на требования покупателей
<b>Управляемость производственной системой</b>	Достижение высокой степени контроля над управлением производственной системой осуществляется с помощью применения точных методов оценки эффективности процессов, в том числе статистических	Наличие либо низкой степени контроля над управлением производственной системой в случае малой устойчивости системы менеджмента, либо высокой степени контроля, основанной на усилении ответственности рядовых исполнителей

Примером системы менеджмента, построенной на основе процессного подхода можно назвать систему менеджмента качества ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций» (ОАО «НЗРМК»).

ОАО «НЗРМК» имеет ряд сертификатов международного уровня. Система менеджмента качества высоко оценена представителями «Регистр Ллойда» (Англия). Успешная деятельность на рынке подтверждается активным участием предприятия в проектах «Сахалин-2» и «Восточная труба».

Система менеджмента качества ОАО «НЗРМК» полностью соответствует требованиям ИСО серии 9000 версии 2000 г. Реализация процессного подхода осуществлена через выделение основных процессов, определение последовательности и взаимодействия данных процессов, критериев оценки их результативности, мониторинга и осуществления улучшений по процессам. Модель системы менеджмента качества ОАО «НЗРМК» представлена на рисунке 1. К основным процессам верхнего уровня отнесены процессы менеджмента (ответственность руководства) П1, процессы менеджмента ресурсов П2-П5, процессы жизненного цикла продукции П6-П14, общесистемные процессы П15-П20.

Организационная структура предприятия является функциональной с выделением отдела менеджмента качества в самостоятельное подразделение с непосредственным подчинением генеральному директору. Руководители подразделений являются владельцами процессов.

Изучение и анализ процессов жизненного цикла продукции на примере производства резервуара объемом 5000 куб.м. позволили осуществить декомпозицию процессов П6 – П14, и представить процесс изготовления в виде последовательности операций. Фрагмент данной последовательности операций на этапе изготовления листов стенки и днища резервуара приведен на рисунке 2.

Деятельность по разбиению основных и вспомогательных процессов на последовательные операции, помимо обеспечения наглядности процессов, помогает адекватно отследить распределение ресурсов внутри организации, сделать основной шаг на пути внедрения информационных технологий, например, единой системы документооборота на предприятии.

Модель системы менеджмента качества ОАО «НЗРМК»

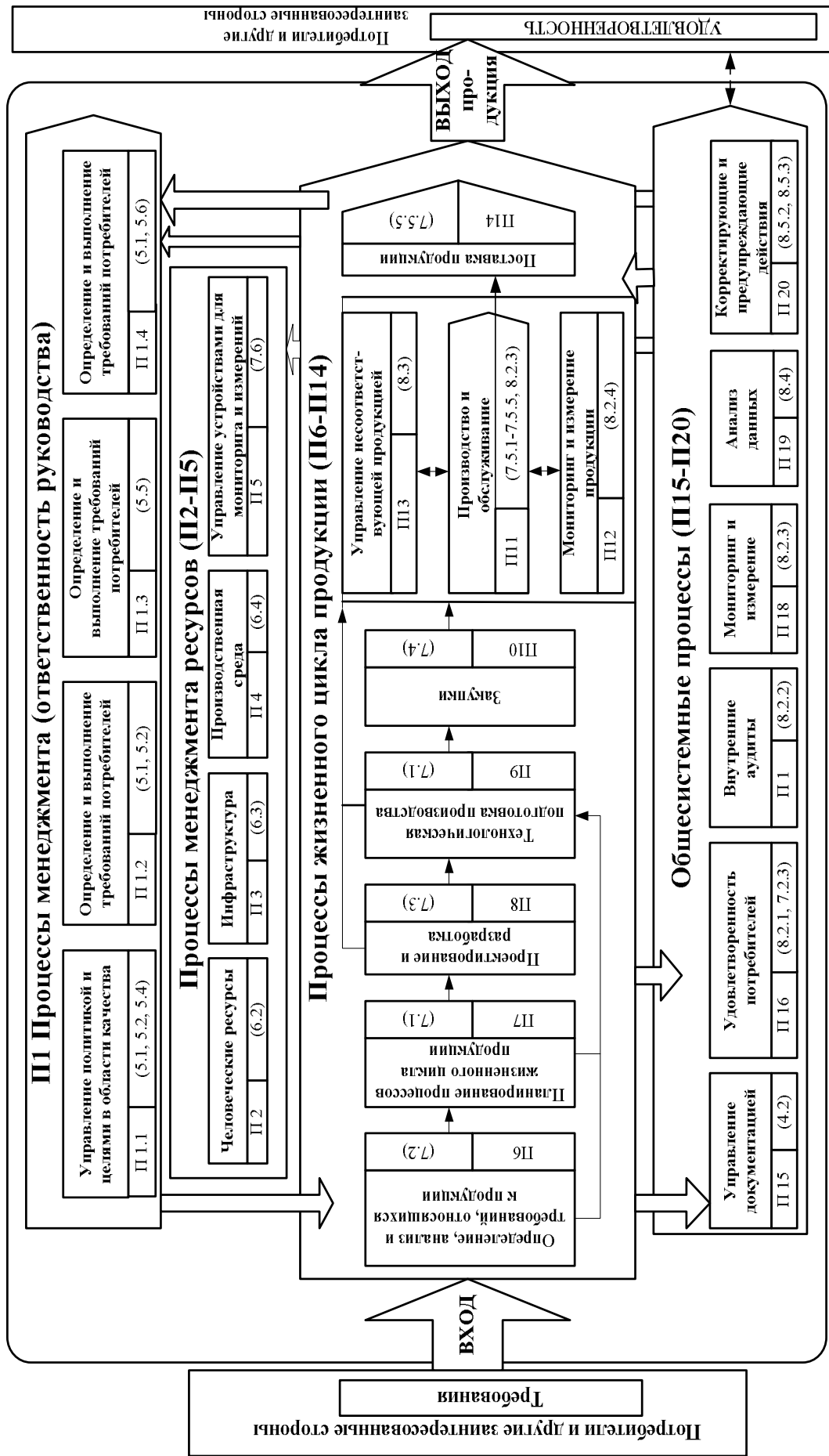


Рисунок 1 – Модель системы менеджмента качества ОАО «НЗРМК»



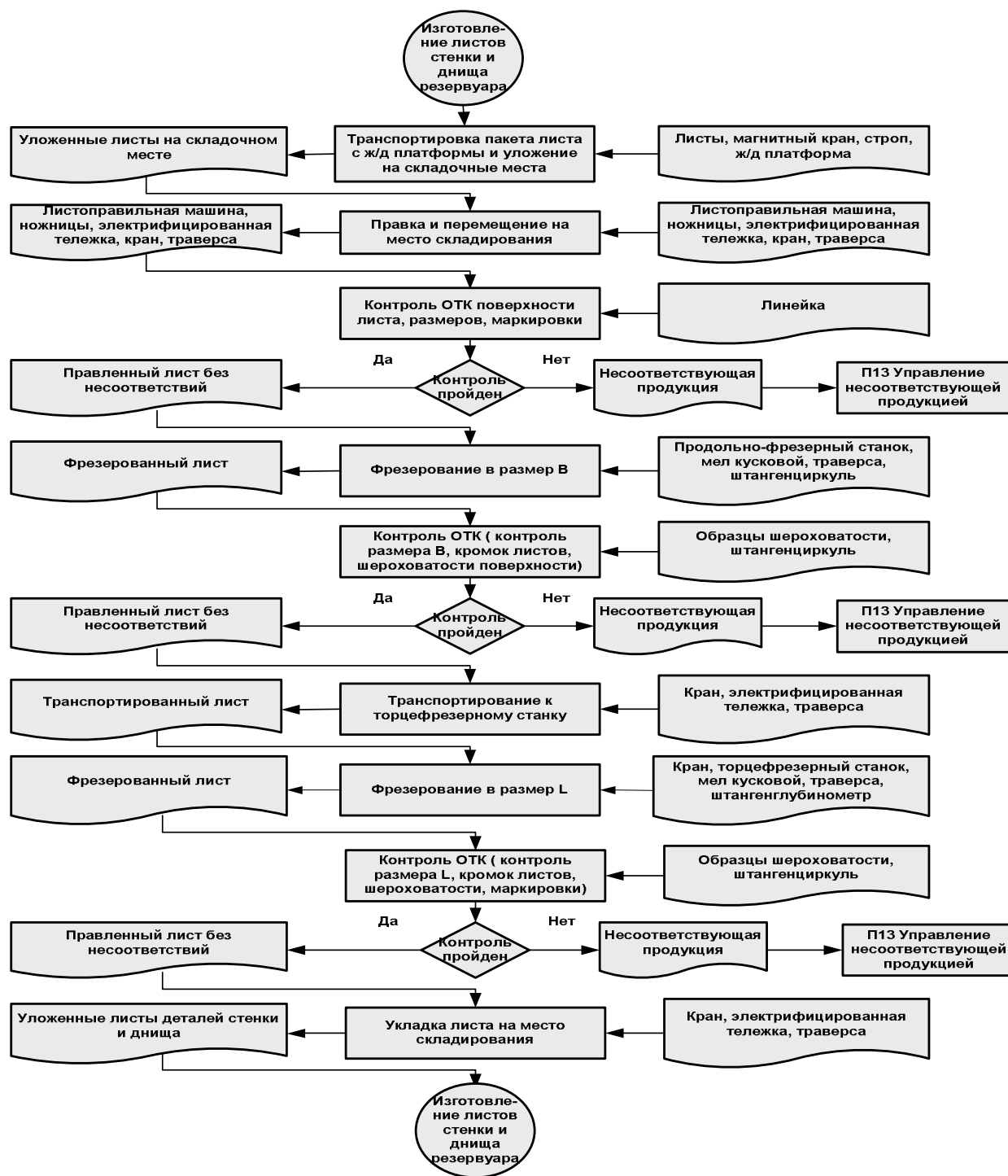


Рисунок 2 – Процесс изготовления листов стенки и днища резервуара объемом 5000 куб.м.

Управление процессами на ОАО «НЗРМК» осуществляется через ресурсное управление. При этом управление ресурсами выделяется в отдельную подсистему менеджмента со своей областью применения, целями функционирования и критериями результативности.

Процессный подход связывает функциональные подразделения предприятия в единую систему, что помогает избавиться от ряда недостатков функционального менеджмента. Реализация процессного

подхода на ОАО «НЗРМК» позволяет оптимизировать внутреннюю деятельность за счет более эффективного менеджмента ресурсов, высокой степени управляемости производственной системой и способствует повышению конкурентоспособности предприятия на рынке, благодаря ориентации на полное удовлетворение его потребителей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Менеджмент процессов / Й. Беккер и др.: пер. с нем./– М.: Эксмо, 2007. – 359 с.
2. Кондо Й. Управление качеством в масштабах компании / Й. Кондо. – Н. Новгород: ООО «СМЦ «Приоритет», 2002. – 234 с.
3. Тельнов Ю.Ф. Реинжиниринг бизнес-процессов. Компонентная методология / Ю.Ф. Тельнов. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.

УДК 669.1.054.8

А.А. Одинцов, В.А. Долинский

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

## КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАМОВ НА ОАО «ЗСМК»

Представлен анализ технологических схем подготовки металлургических шламов для агломерационного производства. Описана комплексная технология переработки металлургических шламов, обеспечивающая снижение себестоимости агломерата, улучшение экологической ситуации на предприятии.

The analysis of technological manners for preparation of metallurgical slurry for fabrication of agglomerate are presented. The complex technology of processing metallurgical slurry for lowering cost of agglomerate, to improve bionomics situation on the factory is described.

В условиях постоянного повышения цен на рынке железорудного сырья и сложной экологической обстановки в г. Новокузнецке и регионе в целом возрастает актуальность использования промышленных отходов в металлургическом переделе.

Ежегодно в водогазоочистных системах агломерационно-известкового (АИП), сталеплавильного и прокатного производств ОАО «ЗСМК» улавливаются сотни тысяч железосодержащих пылей и шламов. Массовая доля железа в них составляет от 45 до 72 %, что свидетельствует об их высокой ценности как металлургического сырья. В то же время из-за наличия вредных примесей (цинка, свинца, меди, мышьяка, кадмия, фосфора, серы, хлора, щелочных металлов, нефтепродуктов) и отсутствия эффективных технологий переработки на предприятии сложилась диспропорция между образованием этих шламов и пылей и их утилизацией. С целью снижения затрат на складирование, удовлетворения требований по защите окружающей среды, а также замены дефицитных и дорогостоящих железорудного сырья и металлолома на ОАО «ЗСМК» и других металлургических предприятиях шламы используют после подготовки в агломерационном производстве. Однако реализация этого направления утилизации

в черной металлургии затруднена по ряду причин. Первая причина связана с ограничением использования пылей и шламов в качестве компонентов аглошихты – не более 15 % массы шихты, так как превышение этого количества ведет к ухудшению показателей спекания и качества агломерата (возрастает содержание вредных примесей), нарушению правил санитарной гигиены и техники безопасности на рабочих местах, загрязнению оборудования и воздушного бассейна, особенно при использовании шламов прокатного производства. Вторая причина вытекает из общих требований, предъявляемых к качеству этих отходов при производстве агломерата: влажность шламов должна быть не более 9 %, крупность после термической сушки – не более 5 мм; массовая доля нефтепродуктов – не более 1,5 %; содержание цинка – не более 0,3 %, а в агломерате – не более 0,05 %. Третья причина связана с тем, что для стадии подготовки (обезвоживание и термическая сушка шламов, окомкование пылей, обезмасливание шламов прокатного производства, мероприятия по обесцинкованию шламов и пылей сталеплавильного производства) необходимы сравнительно высокие капитальные и эксплуатационные затраты [1].

В настоящее время на металлургических предприятиях при подготовке шламов к утилизации применяются следующие технологические схемы [2].

Схема 1 – с использованием шламонакопителей и карт осушения при повышенной влажности шламов и ее неравномерностью по вертикали. Эта схема применяется только в районах с теплым климатом, связана с высокой продолжительностью процесса осушения, значительным загрязнением окружающей среды и изъятием больших земельных площадей.

Схема 2 – с использованием корпусов обезвоживания шламов, оснащенных специальным оборудованием для сгущения и фильтрации. Эта схема обеспечивает стабильную работу независимо от климатических условий, снижает загрязненность окружающей среды, но влажность шламов остается повышенной (до 30 %). По данной технологии обезвоживают шламы на ОАО «ЗСМК», ОАО «ММК» [3].

Схема 3 – с использованием корпусов обезвоживания с последующей термической сушкой отфильтрованного шлама. Эта схема значительно дороже схемы 2, но обеспечивает необходимые сыпучесть и транспортабельность. Данная схема внедрена на ОАО «НЛМК», ОАО «НТМК», ОАО «Северсталь», ОАО «НОСТА» [4, 5].

Схема 4 – с использованием корпусов обезвоживания с последующим смешиванием отфильтрованного материала с сухими отхо-

дами или с обожженной известью. Такая схема позволяет полнее использовать сухие и влажные отходы, снизить эксплуатационные затраты по сравнению со схемой 3 и улучшить защиту окружающей среды. Подобная схема опробована на ОАО «Криворожсталь», ОАО «ЗСМК», ОАО «Мечел», ОАО «НОСТА», ОАО «ММК» [6-8].

Схема 5 – предусматривает распыление сгущенных шламов в агломерационную шихту при ее окомковании. Преимущества – сравнительная простота и экономичность. Недостаток – может быть использована только в случае необходимости увлажнения шихты при ее подготовке к спеканию. Такая технология была внедрена на ОАО «Испат-Кармет» [4].

Схема 6 – с использованием бункеров и площадок дообезвоживания для окалиносодержащих шламов прокатных цехов. Недостаток – невозможность удаления масел из окалины.

Кроме этих схем, применяют горизонтальные отстойники периодического действия с механизмами для очистки осадка.

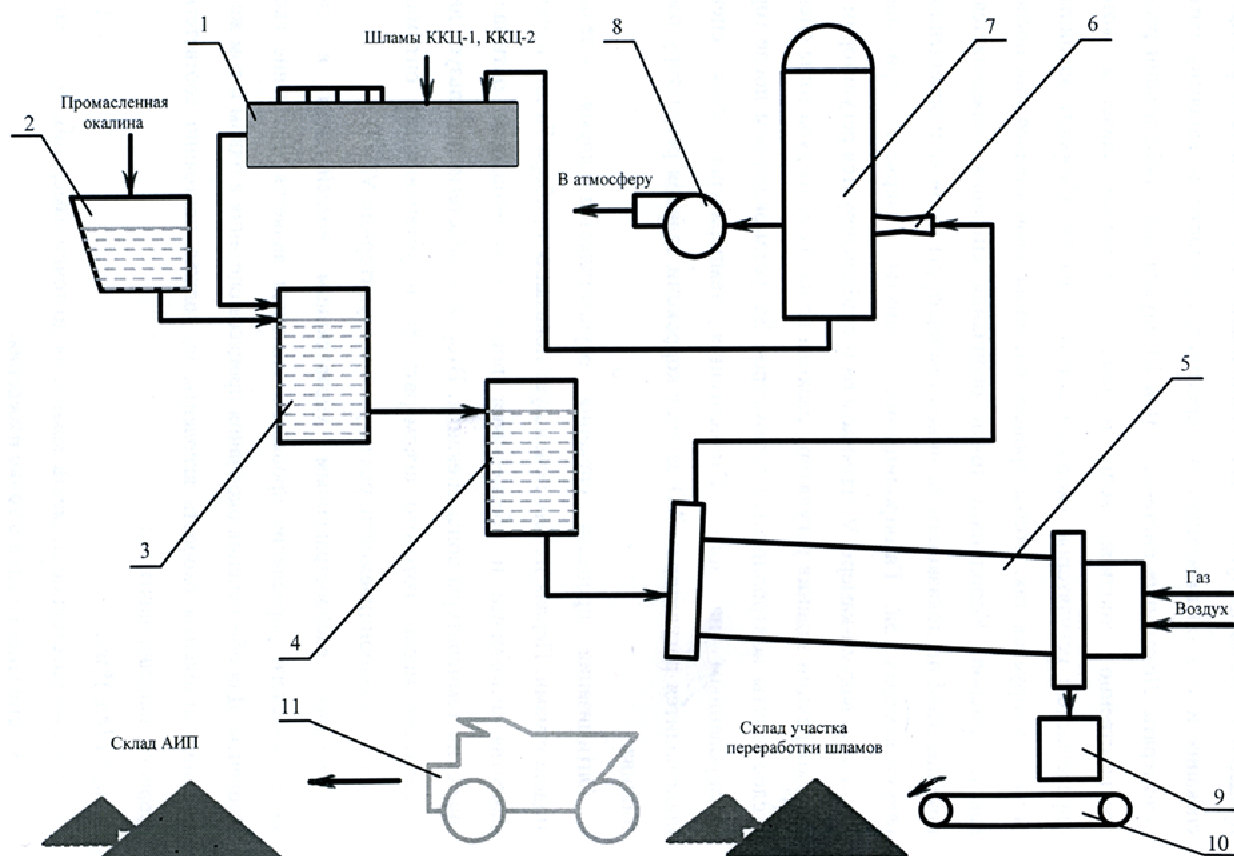
В условиях ОАО «ЗСМК» предлагается к внедрению термический способ переработки шламов (схема 3).

Особенностью технического решения по утилизации замасленной окалины является ее термическая сушка в сушильном барабане совместно с текущими шламами сталеплавильного и прокатного производств [5, 9]. Разработан также режим сушки и удаления масла с его последующим сжиганием. Для ограничения температуры материалов и газов в сушильный барабан подается вода в виде шламовой пульпы.

Для условий ОАО «ЗСМК» технологические показатели процесса сушки следующие:

содержание воды/масла в окалине, %.....	7,8-11,3/1,8-3,7
содержание воды в конвертерном шламе, %.....	30-35
количество переработанных шламов, тыс. т в год:	
конвертерных цехов.....	30
прокатных цехов.....	32
расход природного газа, м <sup>3</sup> /т.....	30-36

Схема переработки шламов представлена на рисунке. Замасленная окалина из вторичных отстойников перевозится специально оборудованным Белазом и выгружается в приемный бункер 2, конструкция которого обеспечивает прием замасленной окалины без загрязнения окружающего пространства и площади вокруг участка переработки шламов. Приемный бункер оборудован крышкой с электроприводом и грохотом с решеткой 60х60 мм для защиты от попадания инородных тел.



1 – радиальный отстойник; 2 – приемный бункер; 3 – усреднительный бак; 4 – расходный бак; 5 – сушильный барабан; 6 – труба Вентури; 7 – скруббер-каплеуловитель; 8 – дымосос; 9 – бункер сухого шлама; 10 – транспортер; 11 – Белаз

Рисунок – Схема переработки конвертерных и прокатных шламов

Из приемного бункера окалина поступает в усреднительный баки 3 (3 штуки), каждый из которых имеет объем  $50 \text{ м}^3$  и оборудован тихоходным перемешивателем. В усреднительных баках окалина разбавляется шламами сталеплавильного производства. Полученная таким образом пульпа насосом перекачивается в расходный бак 4 объемом  $20 \text{ м}^3$ , из которого самотеком поступает в сушильный барабан 5. Регулирование расхода пульпы осуществляется краном-дозатором.

В сушильном барабане диаметром 2 м и длиной 18 м производится сушка шлама и сжигание масел в факеле газовой горелки. Дымовые газы из сушильного барабана поступают на «мокрую» газоочистку (система «труба Вентури 6 – скруббер-каплеуловитель 7») и выбрасываются в дымовую трубу.

Таким образом, шламы газоочистки возвращаются в технологический процесс, при этом экологически вредные выбросы сведены к минимуму.

При испытании технологической линии сушки шламов на ОАО «НОСТА» проведены исследования распределения температур на поверхности слоя материала и внутри. При этом установлено, что поверхностный слой материала в зоне факела газовой горелки нагревается до 500-700 °С, в этих условиях происходит возгонка масел и удаление их в газовую фазу. Температура факела и содержание кислорода обеспечивают достаточно полное сгорание масла в объеме сушильного барабана. Температура внутри слоя материала не превышает 60-80 °С, поэтому происходит интенсивный тепло- и массообмен между слоями материала.

Движение материала в сушильном барабане осуществляется в режиме переката, что обуславливает постоянное обновление поверхности слоя, подвергающегося высокотемпературной обработке. В связи с этим в процессе сушки шлама обеспечивается достаточно высокая степень возгонки и удаления масел в газовую фазу с их последующим сгоранием.

Осушенные и обезмасленные шламы поступают на склад участка переработки шламов, а затем при помощи Белазов 11 транспортируются в АИП ОАО «ЗСМК» и используются в качестве компонента железорудной части шихты.

Химический состав полученного сухого продукта характеризуется следующими средними содержаниями, % (масс.): Fe<sub>общ</sub> 63,72; FeO 53,72; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 31,55; S 0,095; P 0,064; MgO 0,86; SiO<sub>2</sub> 2,20; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,72; CaO 5,80; Mn 2,32; ZnO 0,51; Na<sub>2</sub>O 0,22; K<sub>2</sub>O 0,06. При использовании сухого продукта в аглошихте содержание железа в доменном агломерате остается на прежнем уровне (57,18-57,20 %), а цинка незначительно повышается (с 0,049 до 0,052 %).

Мощности сушильного барабана позволяют обезвоживать, помимо конвертерных и сталеплавильных шламов, шламы агломерационного производства в зимнее время года.

Предлагаемая технология подготовки прокатных и конвертерных шламов для АИП ОАО «ЗСМК» позволяет сократить площадь складирования железосодержащих отходов, а следовательно, и масштабы загрязнения почвы, снизить себестоимость агломерата. Реализация данной технологии уменьшит сброс загрязняющих веществ с дебалансной водой комбината в р.Томь, т/год: взвешенных 224,070;

фтора 16,938; железа 5,141; алюминия 1,696; нефтепродуктов 0,285; хрома 0,043; цинка 0,014; марганца 0,007; меди 0,004.

Эффективность данной технологии подтверждена опытом работы сушильных комплексов на отечественных предприятиях черной металлургии [4, 5].

Ожидаемый годовой экономический эффект (без учета затрат на строительство участка переработки шламов) составит около 52 млн. руб.

Срок окупаемости проекта по строительству участка переработки шламов составит 1-1,5 года.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Переработка некондиционных железосодержащих пылей и шламов металлургических переделов / В.П. Ульянов и др. // Сталь. – 2002. – № 12. – С. 69-75.
2. Современное состояние и перспективы рециклинга цинкосодержащих отходов металлургического производства / В.С. Лисин и др. // Чер. металлургия. – 2001. – № 6. – С. 10-22.
3. Савинов В.Ю. Пути уменьшения цинка в доменных шламах с целью их утилизации в аглошихте / В.Ю. Савинов, Н.В. Сукинова, М.А. Гусельникова // Сталь. – 2005. – № 1. – С. 5-6.
4. Утилизация пылей и шламов в черной металлургии / А.И. Толочко и др. – Челябинск: Металлургия, 1990. – 152 с.
5. Асылгареев Р. Т. Разработка и освоение технологии утилизации замасленных шламов прокатных цехов / Р.Т. Асылгареев, В.А. Кобелев, В.В. Павлов // Сталь. – 1998. – № 6. – С.73-75.
6. Ерохин А.В. Обезвоживание окалины прокатных цехов / А.В. Ерохин, С.И. Спиридонова, Д.С. Воронин // Металлург. – 1976. – № 12. – С. 38-39.
7. Колесанов Ф.Ф. Использование подготовленной промасленной окалины прокатных цехов в агломерационной шихте / Ф.Ф. Колесанов, В.М. Кравцов, Л.А. Горский // Чер. металлургия. – 1974. – № 9. – С. 37-38.
8. Опыт утилизации железосодержащих шламов и вторичной окалины / А.В. Сокуренок и др. // Сталь. – 2006. – № 1. – С. 83-85.
9. Разработка комплексной схемы утилизации железосодержащих отходов / Л.А. Смирнов и др. // Сталь. – 2001. – № 1. – С. 89-91.



УДК (666.9:620.22-419):504.064.45

Е.В. Корнеева, С.И. Павленко

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк.

## РАЗРАБОТКА СОСТАВА БЕСЦЕМЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАЛЕЛИТЕЙНЫХ ШЛАКОВ И ДРУГИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

В статье представлены исследования по разработке состава бесцементного вяжущего на основе мартеновского шлака текущего выхода ОАО «Сталь НК».

In the article the researches on development of a structure noncement knitting because of Martin slag of a current output ОАО " Steel NK " are shown.

Образование огромного количества отходов на предприятиях промышленной инфраструктуры Кузбасса – проблема, требующая немедленного решения. В целях снижения экологической нагрузки на окружающую среду, проводятся исследования образованных техногенных продуктов для определения направления их применения, а значит утилизации.

В процессе научно-исследовательской работы по подбору вяжущего состава на основе сталелитейного мартеновского шлака текущего выхода ОАО «Сталь НК», производился подбор добавок влияющих на активность шлака, исключительно из вторичных минеральных ресурсов (ВМР).

Мартеновский шлак текущего выхода обладает вяжущими свойствами, так как он относится к группе «ультраосновных» (коэффициент основности шлака более 1,6)  $K_{осн.} = 2$ . Для составления  $2^x$  - компонентной вяжущей смеси был принят коэффициент основности  $K_{осн.} = 1,6$ . Поэтому, в качестве добавки были использованы горелые породы отвала ОАО шахта «Абашевская» «ОУК» Южкузбассуголь так как относятся к группе «ультракислых», поскольку содержат повышенное количество  $SiO_2$  и  $Al_2O_3$ ,  $K_{осн.} = 0,1$ .

Для определения состава производился расчет соотношения компонентов:

$$\text{Сырье с } K_{осн.} > 1 / \text{Сырье с } K_{осн.} < 1 \quad (1)$$

Расчет показал, что на 1 часть шлака необходимо добавить 0,33 части горелых пород.

Для активации поверхности, как горелой породы, так и шлака и формирования новообразований также необходима добавка, обладающую следующими свойствами:

- связывать свободный оксид кальция;
- продукты, полученные в результате химического воздействия оксида с добавкой, должны повысить активность шлака путем образования гидросиликатов кальция.

Для подбора добавки с необходимыми свойствами, было изучено действие на состав: шлак – горелые породы водного раствора серной кислоты. В результате отмечено образование гидросиликатов кальция и рост прочности системы.

Испытания проводили на образцах (20×20×20) мм, изготовленных из молотого мартеновского шлака текущего выхода и горелых пород, размолотых на шаровой мельнице до тонкости помола 300-320 м<sup>2</sup>/кг, затворенных раствором серной кислоты с водо-шлаковым отношением 0,4. Образцы выдерживались в естественных условиях при температуре 18 ± 20 °С.

Концентрация менялась от 15 до 30 % (таблица). Определено оптимальное количество – 20 % раствора H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Таблица 1 – Влияние концентрации добавки – активизатора на прочность шлакового вяжущего в возрасте 3 суток

Концентрация раствора H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> %	Предел прочности при сжатии, Мпа
15	0,3
20	0,56
30	0,28

Для определения вещественного (минералогического) состава был произведен рентгенофазовый (РФА) анализ (рисунок 1) на экспериментальных образцах, изготовленных из оптимального состава, в процессе набора прочности, в возрасте 7 суток. Для этого после определения прочности, образцы размалывали до полного прохождения через сито 0,053.

По результатам РФА в исследуемой пробе обнаружено присутствие: гипса (более 25 %), оксида железа Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (гематита) и SiO<sub>2</sub> (кварца). Содержится в незначительном количестве каолиновый ангидрит 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>×2SiO<sub>2</sub> (муллит), Fe-шпинель Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (магнетит), оксид FeO (вюстит), примеси.

РФА выявил возможность присутствия рентгено-аморфной (стекловидной) фазы. Дифрактограмма показывает наличие стойких минералов, обеспечивающих долговечность материала.

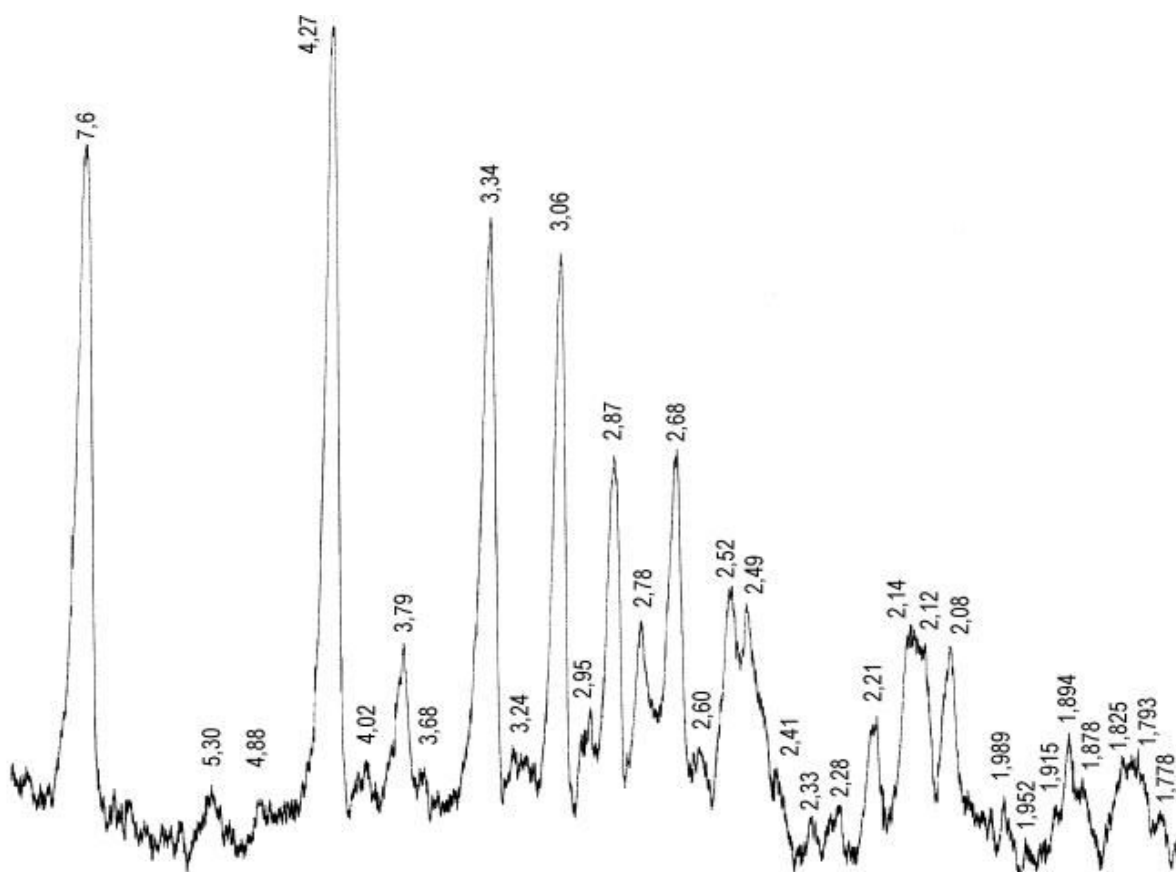


Рисунок 1 – РФА структурного состава связующих и новообразований вяжущего в возрасте 3 суток

Для идентификации процессов, происходящих с исследуемым материалом, в возрасте 7 суток, был проведен дифференциально-термический анализ (ДТА). Подготовку проб к анализу проводили по методике [2].

Дериватограмма (рисунок 2) подтвердила наличие гипса, ступенчатая дегидратация которого отмечена эндоэффектом при температуре 135-200 °С. Экзотермический эффект при температуре 410 °С соответствует перестройке кристаллической решетки гипса в кристаллическую решетку ангидрида  $\text{CaSO}_4$ . Окисление Fe – двухвалентного до Fe – трехвалентного зафиксировано экзоэффектом при 700 °С. При экзоэффектах 860 и 1005 °С на термограмме наблюдается перекристаллизация и образование новых кристаллических структур с поглощением кислорода и соответственным увеличением массы.

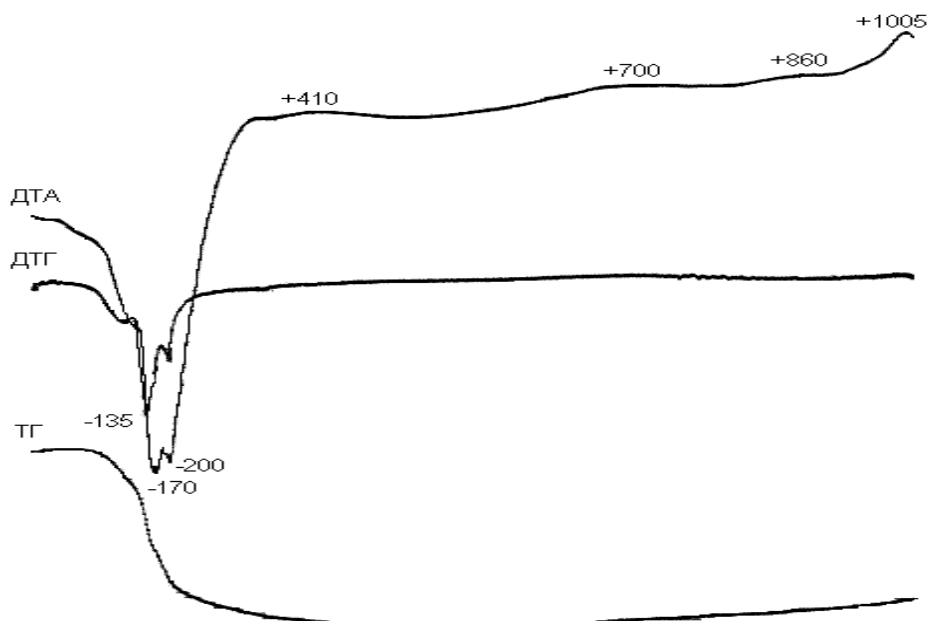
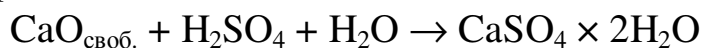
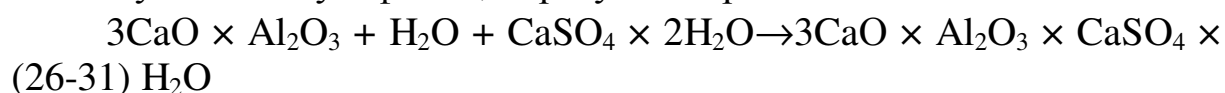


Рисунок 2 – ДТА структурного состава связующих и новообразований вяжущего в возрасте 7 суток

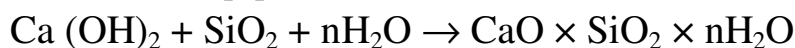
При обработке шлаков 20 %-раствором серной кислоты идет реакция замещения ионов кальция в оксиде кальция, с образованием гипса. Гипс приводит к быстрому набору прочности, является ускорителем твердения и снижает открытую пористость и водопоглощение материала на 30-40 %.



В шлаке имеются алюмосиликаты кальция которые, с полученным двухводным сульфатом, образуют этtringит:



Образование гидросиликатного сростка наблюдается на этапе взаимодействия с оксидами горелых пород с образованием гидросиликатов по схеме [3]:



Прочность шлакового камня, затворенного водным раствором серной кислоты, схватывание и твердение смеси обусловлено сближением коллоидных частиц и склеиванием их в монолит (цементный камень), т.е. образованием кристаллического, гидросиликатного сростка. Кислота обеспечивает активацию поверхности, как горелой породы, так и шлака и одновременно участвует в формировании новообразований. Известно, что кислоты представляют большую опасность для затвердевших бетонов. Кислоты приводят к коррозии це-

ментного камня [4]. При получении вяжущего, кислота оказывает положительное воздействие.

Водный раствор серной кислоты подбирался в процентном содержании, позволяющем серной кислоте в полном объеме, без остатка прореагировать с оксидом кальция (только необходимым для осуществления реакции замещения с образованием гипса). С увеличением процентного содержания серной кислоты, увеличивается количество новообразований, однако передозировка добавки приводит к ослаблению системы (таблица 1).

Из проведенных исследований установлено, что полученный порошкообразный минеральный материал, при смешивании с водным раствором серной кислоты, образующий пластическую массу (тесто), является неорганическим вяжущим составом, так как способен со временем твердеть до камневидного состояния, сохраняя прочность.

Изучив действие на исследуемый минеральный материал водного раствора серной кислоты, был подобран компонент – активизатор с аналогичными свойствами (ВМР) – нейтрализованные отработанные аккумуляторные растворы тяговых и стартерных кислотных аккумуляторов ОАО шахты «Абашевская» ОУК «Южкузбассуголь».

Нейтрализованные отработанные аккумуляторные растворы так называемые шламы, представляют собой обводненные гели, обладающие высокой пластичностью. Полученный в результате нейтрализации известью шлам, имеет в своем составе легкорастворимые соли амфотерных металлов – свинца или цинка с серной кислотой, чем объясняется наличие в нём сульфатов этих металлов. Являясь промышленным отходом (ВМР) ОАО шахты «Абашевская» ОУК «Южкузбассуголь», он после нейтрализации может быть использован в качестве добавки – активизатора.

Горелые породы и шлам, как промышленные отходы предпочтительны для активизации гидратации, так как в результате химических реакций наблюдается образование гидросиликатов кальция.

Достоинства полученной вяжущей композиции в том, что она в своем составе имеет только техногенные отходы и не нуждается в дополнительном обжиге исходных компонентов.

Данная вяжущая композиция может быть использована для получения искусственных каменных материалов, растворов и бетонов, не требующих высоких прочностных характеристик, а также в составе бесцементной закладочной смеси для заполнения горных выработок. Использование в бесцементном вяжущем составе отходов горно-

металлургического производства позволит уменьшить долю материальных затрат предприятий на мероприятия по их утилизации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панова В.Ф. Комплексное использование природного сырья и техногенных отходов в производстве строительных материалов и изделий. Опыт лаборатории «Строительные материалы» / В.Ф. Панова // Научно-технический потенциал строительного комплекса Кузбасса. Материалы регионального научно-технического совещания 8 апреля 1999 г – Новокузнецк: СибГИУ, 1999. – С. 62-65.

2. Горшков В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.

3. Бабушкин В.И. Термодинамика силикатов / В.И. Бабушкин, Г.Н. Матвеев, О.П. Мчедлов-Петросян. – М.: Стройиздат, 1986. – 480 с.

4. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение / И.А. Рыбьев. – М.: Высшая школа, 2003. – С. 433.

УДК 547.68.06:662.734

Н.В. Журавлева

ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр»,

г. Новокузнецк

## ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ОТХОДАХ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Изучено распределение полициклических ароматических углеводородов в образцах жидких и твердых отходов коксохимического производства. Определены отношения концентраций фенантрен/антрацен, флуорантен/пирен, бенз(а)антрацен/хризен, которые находятся в узком интервале значений и могут быть характеристикой загрязнения, связанного с влиянием коксохимического производства.

Distribution of polynuclear aromatic hydrocarbons in liquid and solid wasters of carbonization is studied. Concentration ratios of phenanthrene/ anthracene, fluoranthene/pyrene, benzo(a)anthracene/chrysene are determined. They are arranged in narrow interval of values and may be used as a pollution characteristic dealing with the influence of carbonization.

Коксохимическое производство (КХП) является одним из основных источников поступления полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в окружающую среду [1]. Наиболее известным представителем ПАУ, обладающим сильным канцерогенным действием, является бенз(а)пирен. Считается, что в глобальной эмиссии этого углеводорода более 20 % приходится на производство кокса [2]. Однако, доля бенз(а)пирена составляет один или менее процента от суммы ПАУ, среди которых многие также обладают канцерогенными и мутагенными свойствами. В странах Европейского Сообщества определяют 16 соединений, входящих в эту группу.

В значительных количествах содержатся ПАУ и в отходах КХП. Актуальность изучения распределения ПАУ в отходах коксохимии важна при оценке возможной нагрузки на окружающую среду и поиске источников загрязнения. Такие задачи возникают при размещении отходов на промышленных полигонах, а также при создании новых способов переработки. На сегодняшний день рассматриваются следующие основные направления утилизации органических отходов

коксохимического производства: использование в шихте для коксования, в дорожном строительстве для создания материалов с улучшенными свойствами, при создании новых материалов противокоррозионной защиты и др. [3, 4].

В отходах КХП содержатся многокомпонентные смеси органических веществ, поэтому для их исследования необходимы чувствительные и селективные хроматографические методы анализа.

В настоящей работе измерения концентраций ПАУ выполняли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с регистрацией поглощения света с помощью фотодиодной матрицы и флуоресцентным детектированием. Использовали хроматографическое оборудование фирмы («Varian», США): градиентный насос высокого давления серии 9012 с возможностью создания трехкомпонентного элюента; автосамплер 9300; детектор на диодной матрице – POLY-CHROM 9065; флуоресцентный детектор 9075. Разделение исследуемых смесей веществ осуществляли на хроматографической колонке ChromSpher PAH (4,6 x 250 mm) («Varian», США), специально разработанной для эффективного анализа ПАУ. Хроматографирование проводили в градиентном режиме: ацетонитрил – вода (от 70:30 до 100:0 за 10 мин, 100 % ацетонитрил – 15 мин). Расход растворителя – 1 см<sup>3</sup>/мин.

Параметры детектирования для детектора на диодной матрице: спектры снимают в интервале 190-367 нм, при количественном определении сигнал регистрируют при 254 нм. Параметры детектирования для флуоресцентного детектора: программирование по времени на максимумах возбуждения и испускания, ширина полосы возбуждения и излучения – 8 нм.

Определение проводили с использованием следующих стандартных веществ ПАУ: аценафтен, аценафтилен, антрацен, бенз(а)антрацен, бенз(а)пирен, бенз(в)флуорантен, бенз(к)флуорантен, бенз(г,х,и)перилен, дибенз(а,х)антрацен, индено(1,2,3-сд)пирен, пирен, флуорен, фенантрен, флуорантен, хризен (фирма «Supelco», США). В этот список включены канцерогенные ПАУ (бенз(а)пирен, бенз(в)флуорантен, бенз(г,х,и)перилен, индено(1,2,3-сд)пирен), неканцерогенные, но токсичные (флуорантен, бенз(к)флуорантен), остальные соединения отражают степень антропогенной загрязненности ПАУ природных объектов.

Идентификацию ПАУ проводили путем библиотечного поиска по физико-химическим характеристикам индивидуальных соединений с помощью программного средства «PolyView». Библиотека со-



держит спектральные параметры, абсолютные времена удерживания 16 приоритетных полициклических ароматических углеводородов. Все приоритетные ПАУ имеют характерные УФ-спектры, по которым с вероятностью более 95 % идентифицировались соединения. Одновременное использование двух детекторов при анализе проб неизвестного состава исключает ошибки идентификации веществ. Обработку результатов измерений концентраций ПАУ выполняли с помощью программного средства «STAR chromatography workstation».

Исследовано 12 образцов жидких и твердых отходов КХП: полимеры регенерации масла, фусы отделения обезвоживания смолы, фусы отделения конденсации смолы, кислая смолка, смесь смолы и масла биохимической очистки сточных вод, осадок биохимической очистки сточных вод, обезвоженный коксовый шлам, пыль коксовая, бой отработанной футеровки динасовый, бой отработанной футеровки шамотный, пековый осадок, кубовые остатки. Все исследованные образцы значительно отличаются как по суммарному содержанию ПАУ так и относительному распределению бенз(а)пирена.

Из полученных результатов следует, что наибольшая концентрация бенз(а)пирена содержится в пробах полимеров, фусов отделения обезвоживания смолы, отходах биохимической очистки сточных вод, пековом осадке (таблица 1). Эти же образцы характеризуются наибольшим суммарным содержанием ПАУ и, следовательно, обладают наибольшей канцерогенностью. При рекомендациях об использовании полимеров, фусов и пекового осадка для улучшения показателей качества асфальтобетона в дорожном строительстве [3, 4] необходимо учитывать комплексное воздействие ПАУ на окружающую среду.

Доля бенз(а)пирена в общей сумме идентифицированных ПАУ находится в интервале от отсутствия (в образцах коксовой пыли и кубовых остатках) до 16,6 % (бой отработанной футеровки динасовый).

Результаты изучения распределения индивидуальных ПАУ в образцах отходов КХП с наибольшим суммарным содержанием данных соединений представлены в таблице 2. В исследованных образцах присутствуют 14 приоритетных ПАУ, наибольшие значения получены для флуорена, флуорантена, пирена, антрацена, фенантрена. Эти углеводороды являются преобладающими компонентами выбросов систем, связанных с пиролизом органического вещества [5]. В целом на долю трициклических (антрацена, аценафтена, аценафтилена, фенантрена, флуорена) и тетрациклических (пирена, флуорантена, бенз(а)антрацена, хризена) углеводородов приходится от 80,0 до 99,9

% от общей суммы ПАУ. Высококонденсированные ПАУ (бенз[а]пирен, дибензо[а,h]антрацен, бенз[к]флуорантен, бенз[в]флуорантен, бенз[g,h,i]перилен, индено[1,2,3-cd]пирен), обладающие наибольшей канцерогенной активностью, являются наименее химически устойчивыми и быстро разрушаются под действием внешних факторов.

Таблица 1 – Распределение ПАУ в отходах КХП

Наименование образца	Суммарное содержание ПАУ, мг/кг	Содержание бенз(а)пирена, мг/кг	Доля бенз(а)пирена в общей сумме ПАУ, %
1. Полимеры регенерации масла	132952,2	105,9	0,08
2. Фусы отделения обезвоживания смолы	6551,1	165,8	2,5
3. Фусы отделения конденсации смолы	3245,5	74,8	2,3
4. Кислая смолка	1144,7	25,1	2,2
5. Смесь смолы и масла биохимической очистки сточных вод	19504,0	232,5	1,2
6. Осадок биохимической очистки сточных вод	4,98	0,41	8,2
7. Обезвоженный коксовый шлам	0,772	0,077	10,0
8. Пыль коксовая	0,025	< 0,001	—
9. Бой отработанной футеровки динасовый	0,968	0,121	12,5
10. Бой отработанной футеровки шамотный	13,54	2,24	16,6
11. Пековый осадок	12100,0	1130,0	9,3
12. Кубовые остатки	460,0	< 0,001	—

Для решения задач по поиску возможных источников загрязнения рассчитаны отношения концентраций приоритетных ПАУ. Данные представлены в таблице 3. Несмотря на то, что исследованные образцы существенно отличаются по суммарному содержанию ПАУ соотношения концентраций для пар фенантрен/антрацен, флуорантен/пирен, бенз(а)антрацен/хризен находятся в узком интервале значений и могут быть характеристикой загрязнения, связанного с влиянием коксохимического производства. Относительные оценки по

бенз(а)пирену затруднены, так как он является химически неустойчивым соединением.

Таблица 2 – Содержание полициклических ароматических углеводородов в отходах коксохимического производства

Наименование показателя	Результаты испытания, мг/кг			
	Полимеры регенерации масла	Фусы отделения обезвоживания смолы	Пековый осадок	Смесь смолы и масла биохимической очистки сточных вод
Аценафтилен	999,3	0,100	< 0,006	< 0,006
Флуорен	52476,0	1437,7	300,0	6667,1
Аценафтен	7248,0	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Фенантрен	57152,0	2721,5	1850,0	7780,0
Антрацен	9273,0	426,0	550,0	1632,6
Флуорантен	3401,0	831,6	2400,0	1360,5
Пирен	1720,0	422,1	2390,0	746,3
Бенз[а]антрацен	259,0	190,8	1020,0	308,6
Хризен	245,7	184,0	1170,0	326,6
Бенз[а]пирен	105,9	165,8	1130,0	232,5
Дибензо[а,h]антрацен	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Бенз[к]флуорантен	< 0,002	46,8	510,0	120,2
Бенз[в]флуорантен	70,5	82,8	780,0	173,9
Бенз[g,h,i]перилен	< 0,010	42,0	< 0,010	57,4
Индено[1,2,3-cd]пирен	< 0,010	< 0,010	< 0,010	98,3
Суммарное содержание ПАУ	132950,4	6551,1	12100,0	19504,0

Таблица 3 – Соотношение концентраций ПАУ для отходов КХП

Номер образца*	Фенантрен/антрацен	Флуорантен/пирен	Бенз(а)антрацен/хризен	Фенантрен/бенз(а)пирен
1	6,2	2,0	1,0	540,0
2	6,4	2,0	1,0	16,4
3	3,3	2,7	1,1	11,9
4	3,1	2,9	0,9	14,2
5	4,8	1,8	1,0	33,5
6	2,2	1,3	0,9	1,1
7	5,7	1,0	0,8	0,9
9	7,3	1,0	0,8	0,2
10	7,4	0,7	0,7	0,4
11	3,4	1,0	0,9	1,6

\* Наименование образца указано в таблице 1.

## ВЫВОДЫ

Изучено распределение ПАУ в 12 образцах жидких и твердых отходов КХП. Показано, что наибольшая концентрация бенз(а)пирена содержится в пробах полимеров, фусов отделения обезвоживания смолы, отходах биохимической очистки сточных вод, пековом осадке. Эти же образцы характеризуются и наибольшим суммарным содержанием ПАУ. Доля бенз(а)пирена в общей сумме идентифицированных ПАУ находится в интервале от отсутствия до 16,6 %. Определены отношения концентраций для ПАУ фенантрен/антрацен, флуорантен/пирен, бенз(а)антрацен/хризен, которые находятся в узком интервале значений и могут являться характеристикой загрязнения, связанного с влиянием коксохимического производства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ровинский Ф.Я. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов / Ф.Я. Ровинский, Т.А. Теплицкая, Т.А. Алексеева. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 222 с.
2. Полициклические ароматические углеводороды: источники, профили и маршруты превращения / А.Р. Суздорф, С.В. Морозов, Л.И. Кузубова, Н.Н. Аншиц, А.Г. Аншиц // Химия в интересах устойчивого развития. – 1994. – № 2. – С. 511-540.
3. Гагарин С.Г. Исследования химического крыла коксохимии (По материалам международных конференций «Наука об угле»). Обзор / С.Г. Гагарин // Кокс и химия. – 2004. – № 10. – С. 21-33.
4. Салтанов А.В. Квалифицированное использование техногенных отходов в коксохимическом производстве / А.В. Салтанов // Кокс и химия. – 2002. – № 1. – С. 40-46.
5. Исследование стадии, определяющей выделение канцерогенных полициклических ароматических углеводородов в процессе карбонизации среднетемпературного пека / Л.И. Куртеева и др. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2002. – № 10. – С. 431-441.

## **ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

УДК 378.14: 62(571.17)

Н.М. Кулагин, Г.В. Галевский, В.П. Дмитрин, А.А. Кулагин,  
М.В. Темлянцев, Е.Г. Майсеенок

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный  
университет», г. Новокузнецк

## ВОСПРОИЗВОДСТВО ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ ДЛЯ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО И СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ЮГА КУЗБАССА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В работе приведены результаты исследования структуры подготовки инженерных кадров для горно-металлургического и строительного комплекса Юга Кузбасса, оценены востребованность и эффективность их использования.

The results of research connected with the structure of training engineers for mining, metallurgy and construction complexes of South Kuzbass are shown in the article. The necessity and the effectiveness of their use are estimated.

Реформы, произошедшие в социальной сфере и экономике России в последнее 10–15 лет, в полной мере сказались на горно-металлургическом и строительном комплексе Кузбасса. На начальном этапе предприятиям комплекса в числе многих российских удалось пережить приватизацию, акционирование, переход к рыночным отношениям, спад производства, а впоследствии, адаптировавшись к современным условиям функционирования занять, лидирующие позиции по выпуску отдельных видов продукции (например, рельсов на ОАО «НКМК») и превратиться в преуспевающие компании, производящие конкурентоспособную продукцию не только на российский, но и мировой рынок.

Соответствующим образом реформы сказались и на вузах, реализующих подготовку инженерных кадров – металлургов, горняков и строителей, причем существенные трансформации произошли не только в области государственных образовательных стандартов, регламентирующих структуру подготовки специалиста с высшим профессиональным образованием, престижности и востребованности отдельных специальностей, но и трудоустройства. Отказ от так называемого «государственного распределения», фактически представ-

ляющего гарантированное трудоустройство по специальности, кардинальным образом изменил концепцию системы трудоустройства выпускников. Система подготовки кадров с высшим образованием стала в большей степени ориентирована на реальные потребности экономики региона, области, города.

## 1. Структура подготовки инженерных кадров в Кузбассе

### **Горное дело**

Подготовка специалистов горного профиля в Кузбассе ведется в 14 образовательных учреждениях и структурах высшего профессионального образования, в том числе в двух государственных высших учебных заведениях области – Сибирском государственном индустриальном университете и Кузбасском государственном техническом университете, в 10 филиалах вузов Кемеровской области и в 2 филиалах вузов других регионов (таблица 1). Подготовка специалистов ведется по 13 направлениям и специальностям высшего профессионального образования. Наиболее полно представлено направление подготовки 130400 Горное дело. К числу дублируемых специальностей относятся 130404 Подземная разработка месторождений полезных ископаемых – в 11 ОУ, 150402 Горные машины и оборудование – в 11 ОУ, 130403 Открытые горные работы – в 8 ОУ, 130400 Горное дело (б, м) – в 2 ОУ, 130405 Обогащение полезных ископаемых – в 2 ОУ, 140601 Электромеханика – в 2 ОУ. Выпуск специалистов в 2006 году составил 1072 человек.

На юге Кузбасса лидирующие позиции в подготовке горных инженеров занимает СибГИУ. По объему выпуска специалистов горного профиля СибГИУ занимает 5 место в России. Подготовка специалистов по специальности «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» в вузе открыта в 1947 г. В настоящее время план приема студентов на горные специальности на все формы обучения, за счет средств федерального бюджета, на протяжении последних трех лет достигает 10 % от общего плана приема (государственного задания на подготовку специалистов) в университет и в 2004г. составил 157 чел., 2005 г. – 141 чел., 2006 г. – 123 чел. Конкурс по заявлением на специальности горного профиля достигает 2,3 чел./место.

Таблица 1 – Номенклатура горных специальностей высшего профессионального образования

№ п/п	Специальность	Учреждения профессионального образования													
		КузГТУ	СибГИУ	НФИ КемГУ	Филиал КузГТУ в г. Анжеро-Судженске	Филиал КузГТУ в г. Белове	Междуреченский филиал СибГИУ	Филиал КузГТУ в г. Междуреченске	Осинниковский филиал СибГИУ	Прокорьевский филиал СибГИУ	Филиал КузГТУ в г. Прокорьевске	Филиал МГОУ в г. Прокорьевске	Таштагольский филиал СибГИУ	Филиал КузГТУ в г. Таштаголе	ЮПИ-Ф ТПУ
1	Геоэкология														
2	Горное дело (бакалавр)														
3	Горное дело (магистр)														
4	Физические процессы горного или нефтегазового производства														
5	Маркшейдерское дело														
6	Открытые горные работы														
7	Подземная разработка месторождений полезных ископаемых														
8	Обогащение полезных ископаемых														
9	Шахтное и подземное строительство														
10	Взрывное дело														
11	Электроснабжение														
12	Электромеханика														
13	Горные машины и оборудование														



Выпуск специалистов горного профиля всех форм обучения в СибГИУ в 2004 г составил 84 чел., 2005 г. – 140 чел. и 2006 г. – 118 чел. При этом основная часть из них – это выпускники по специальности «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых». В 2004 г. по этой специальности подготовлено 54 чел. (64 % от общего числа выпускников горного профиля), 2005 г. – 70 чел. (50 %) и 2006 г. – 68 чел. (58 %)

### **Металлургия**

В Кузбассе подготовка специалистов металлургического профиля ведется в 3-х образовательных учреждениях и структурах высшего профессионального образования, в том числе в 2 государственных высших учебных заведениях области – Сибирском государственном индустриальном университете и Кузбасском государственном техническом университете и в 1 филиале вуза другого региона: Юргинском технологическом институте-филиале Томского политехнического университета (таблица 2). Подготовка ведется по 14 направлениям и специальностям высшего профессионального образования. Наиболее полно представлено направление подготовки 150100 Металлургия. В структуре подготовки лидирующую позицию занимает специальность 150101 Металлургия черных металлов, она дублируется в 3 ОУ. Выпуск специалистов металлургического профиля в 2006 году составил 594 человека.

На Юге Кузбасса первенство в подготовке специалистов металлургического профиля принадлежит СибГИУ. По объему подготовки специалистов металлургического профиля СибГИУ занимает 3 место в России. Университет является фактически монополистом по воспроизводству инженерных кадров для ОАО «НКМК» и ОАО «ЗСМК», ОАО «НКАЗ» и выделившихся из них более 15 самостоятельных бизнес-структур.

Старейшими специальностями являются «Металлургия черных металлов», «Литейное производство черных и цветных металлов», «Металловедение и термическая обработка металлов» и «Обработка металлов давлением» подготовка по которым начата в далеком 1931 г. Сегодня план приема на металлургические специальности стабильно высок и в среднем составляет 25–28 % от общего плана приема в университет специалистов на все формы обучения с финансированием из средств федерального бюджета.

Таблица 2 – Номенклатура металлургических специальностей высшей профессиональной образования

№ п/п	Специальность	Учреждения профессионального образования		
		КузГТУ	СибГИУ	ЮТИ-Ф ТПУ
1	Металлургия черных металлов			
2	Металлургия цветных металлов			
3	Теплофизика, автоматизация и экология промышленных печей			
4	Литейное производство черных и цветных металлов			
5	Металловедение и термическая обработка металлов			
6	Обработка металлов давлением			
7	Металлургия сварочного производства			
8	Металлургия техногенных и вторичных ресурсов			
9	Металлургия (бакалавр)			
10	Металлургия (магистр)			
11	Металлургические машины и оборудование			
12	Физика металлов			
13	Химическая технология неорганических веществ			
14	Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов			

В 2004 г. госзадание студентов металлургических специальностей на все формы обучения, за счет средств федерального бюджета (государственное задание) составило 370 чел., 2005 г. – 356 чел., 2006 г. – 356 чел. Конкурс по заявлению на специальности металлургического профиля составляет 1,2 чел./место.

Выпуск специалистов металлургического профиля всех форм обучения в 2004 г. составил 458 чел., 2005 г. – 476 чел. и 2006 г. – 441 чел., что составляет порядка 75-80 % от количества выпускников–металлургов, подготовленных в Кузбассе.

В структуре выпускников преобладают инженеры специальности «Металлургия черных металлов». В 2004 г по этой специальности подготовлено 78 чел (17 % от общего числа выпускников – металлургов), 2005 г. – 141 чел. (30 %) и 2006г. – 86 чел. (20 %).

На аналогичном уровне находится выпуск специалистов по специальности «Металлургические машины и оборудование». В 2004 г. по этой специальности подготовлено 94 чел (21 % от общего числа выпускников – металлургов), 2005 г. – 68 чел. (14 %) и 2006 г. – 99 чел. (22 %).

### **Строительство**

Подготовка специалистов строительного профиля в Кузбассе ведется в 8 образовательных учреждениях и структурах высшего профессионального образования, в том числе в 2 государственных высших учебных заведениях области – Сибирском государственном индустриальном университете и Кузбасском государственном техническом университете, в 4 филиалах Томского государственного архитектурно-строительного университета (таблица 3). Выпуск специалистов реализуется по 10 направлениям подготовки и специальностям высшего профессионального образования. Наиболее полно представлено направление подготовки 270100 Строительство. В структуре подготовки лидирующую позицию занимает специальность 270102 Промышленное и гражданское строительство.

К числу дублируемых специальностей относятся 270102 Промышленное и гражданское строительство – в 8 ОУ, 270113 Механизация и автоматизация строительства – в 4 ОУ, 270112 Водоснабжение и водоотведение – в 2 ОУ, 270115 Экспертиза и управление недвижимостью – в 2 ОУ, 270100 Строительство (бакалавры) – в 2 ОУ. Выпуск специалистов в 2006 году составил 543 человека.

Таблица 3 – Номенклатура строительных специальностей высшего профессионального образования

№ п/п	Специальность	КузГТУ	СибГИУ	Филиал ТГАСУ в г. Новокузнецке	Филиал ТГАСУ в г. Белове	Филиал ТГАСУ в г. Ленинске-Кузнецком	Филиал ТГАСУ в пос. Полысаево
1	Промышленное и гражданское строительство			Неполный цикл обучения			Неполный цикл обучения
2	Водоснабжение и водоотведение						
3	Автомобильные дороги и аэродромы						
4	Экспертиза и управление недвижимостью						
5	Строительство (бакалавр)						
6	Городское строительство и хозяйство						
7	Производство строительных материалов, изделий и конструкций						
8	Теплогазоснабжение и вентиляция						
9	Проектирование зданий						
10	Механизация и автоматизация строительства						Неполный цикл обучения

На Юге Кузбасса первенство в подготовке специалистов строительного профиля принадлежит СибГИУ. Старейшей специальностью является «Промышленное и гражданское строительство», подготовка специалистов по которой началась в 1947 г. В настоящее время план приема на строительные специальности высок и в среднем составляет 13–14 % от общего плана приема специалистов на все формы обучения с финансированием из средств федерального бюджета.

В 2004 г. госзадание составило 200 чел., 2005 г. – 200 чел., 2006 г. – 162 чел. Конкурс по заявлению на специальности строительного профиля является одним из наиболее высоких в университете и в среднем составляет 2,7 чел./место.

Выпуск специалистов строительного профиля всех форм обучения в 2004 г. составил 262 чел., 2005 г. – 260 чел. и 2006 г. – 241 чел., что достигает 44 % от количества специалистов–строителей, подготовленных в Кузбассе.

В структуре выпуска преобладают инженеры специальности «Промышленное и гражданское строительство». В 2004 г по этой специальности подготовлено 105 чел (40 % от общего числа выпускников – строителей), 2005 г. – 94 чел. (36 %) и 2006 г. – 99 чел. (41 %).

Структура и перечень специальностей подготовки специалистов в области горного дела, металлургии и строительства непрерывно совершенствуется. В частности, за последние пять лет в СибГИУ в целях удовлетворения потребностей региона и города открыты новые специальности металлургического, горного и строительного профилей: «Проектирование зданий», «Обогащение полезных ископаемых», «Металлургия техногенных и вторичных ресурсов»

В настоящее время вузы юга Кузбасса по охвату перечня специальностей горного, металлургического и строительного профилей способны в полной мере удовлетворять потребности работодателей в специалистах с высшим профессиональным образованием.

## 2. Востребованность и эффективность использования инженерных кадров

Сегодня востребованность и эффективность использования инженерных кадров воспринимается учреждениями профессионального образования и кадровыми службами управления персоналом на предприятиях как система качественных и количественных характеристик, отражающих потребность предприятий региона в специалистах, обладающих необходимым уровнем подготовки и оптимально вписы-

вающихся в совокупность предъявляемых им профессиональных требований.

В связи с этим успех вуза на рынке образовательных услуг напрямую связан с организацией работ по взаимодействию с кадровыми службами предприятий–потребителей выпускников, тщательного отслеживания конъюнктуры и динамики рынка, демографической ситуации в области.

### **Горное дело**

В настоящее время в Кузбассе насчитывается свыше 100 горнодобывающих предприятий (шахт, разрезов, рудников, обогатительных фабрик). Большая часть из них расположена на юге Кузбасса. Горная промышленность Кузбасса является динамично развивающейся отраслью народного хозяйства. В период с 1999 до 2005 гг. в эксплуатацию введено 11 шахт, 16 разрезов, 4 обогатительные фабрики и 2 обогатительные установки. До 2010 г. планируется строительство еще 25 новых угледобывающих предприятий, обогащение до 80 % добываемых энергетических углей. Сейчас добыча угля в Кузбассе ведется фактически на 50 шахтах и 44 разрезах, обогащение на 27 обогатительных фабриках. В 2006г. добыто 174 млн. т каменного угля.

На юге Кузбасса наиболее крупными потребителями горных инженеров являются ОАО «УК «Южкузбассуголь», «Кузбассразрезуголь», ОАО «Евразруда», ОАО «Междуречье», ш. «Распадская».

Анализ кадрового состава одного из основных потребителей выпускников горного профиля – ОАО «УК «Южкузбассуголь» показывает, что доля специалистов с высшим образованием составляет от 7 % (ш. Алардинская) до 17 % (ш. Есаульская) и в среднем находится на уровне 10 %. При этом доля инженерно-технических работников с высшим образованием колеблется от 34 % до 65 %. В среднем по компании инженерно-технические работники с высшим образованием составляют 50 %. Удельный вес рабочих с высшим профессиональным образованием колеблется от 1 до 8 % и в среднем достигает 3,5 %.

Существенную роль в формировании кадрового состава предприятий периферийных районов играет образовательная деятельность филиалов. В частности, подготовка горных инженеров в Осинниковском филиале СибГИУ привела к значительному росту доли ИТР с высшим образованием на ш. Осинниковская, которая в 2002 г. составляла 30 %, а после активизации деятельности филиала в 2005г. достигла 47 %. Филиал СибГИУ в Таштаголе позволил снять острую кадровую проблему на железорудных предприятиях Горной Шории:

Таштагольском, Шерегешском и Казском рудниках ОАО «Евразруда».

Оценка ежегодной потребности в горных инженерах, проведенная с применением прогнозных методик, показывает, что в среднем она составляет 6-10 человек на каждые 1 млн. т добытых угля и руды. Таким образом, минимальная потребность в специалистах горного профиля на предприятиях Кузбасса с учетом реальных объемов добычи составляет 1050 чел., это практически соответствует количеству горных инженеров, подготовленных в Кузбассе в 2006 г. Планируемое открытие новых угледобывающих предприятий предопределяет дальнейший рост потребности специалистов в области горного дела, как минимум в ближайшие 4-5 лет.

### **Металлургия**

В отличие от горной промышленности Кузбасса траектория развития металлургии несколько иная и связана в первую очередь не с пуском в эксплуатацию новых предприятий, а с глубокой модернизацией и наращиванием мощностей, переходом на новые перспективные металлургические технологии и оборудовании.

С целью изучения проблемы востребованности и использования специалистов металлургического профиля на предприятиях региона СибГИУ было проведено обследование кадрового потенциала основных металлургических предприятий ОАО «ЗСМК», ОАО «НКМК», ОАО «НКАЗ», ОАО «Кузнецкие ферросплавы», Абагурского филиала ОАО «Евразруда», ОАО «ГМЗ». Основными целями столь полномасштабной акции были выявление реальной потребности предприятий в специалистах металлургического профиля, перечня наиболее востребованных специальностей, возрастных категорий работников, перспектив и траекторий карьерного роста, квалификационной структуры персонала, областей для улучшений в подготовке выпускников. Результаты обследования кадрового потенциала позволили установить ряд характерных тенденций. В частности, при оценке структуры кадрового потенциала работников металлургических предприятий в зависимости от уровня образования было выявлено, что уровень работников с высшим образованием всех предприятий составляет 11–30 % от общего числа работающих на предприятии.

Характерная структура трудоустройства и адаптации на предприятиях выпускников металлургических специальностей представлена в таблице 4. Процент выпускников металлургических специальностей, трудоустроившихся или продолжающих трудиться на метал-

лургических предприятиях достаточно высок и фактически достигает 80 % от общего количества выпускников.

В среднем по всем предприятиям – количество работников с высшим профессиональным образованием (в зависимости от общего числа работающих) составляет в возрасте: 18–30 лет – 1–10 %; 31–40 лет – 4–7 %; 41–50 лет – 3–7 %; 51–60 лет – 1–6 %; свыше 60 лет – около 1 %.

Процент работников в возрасте 18-50 лет, то есть активного трудоспособного возраста достаточно высок и составляет в среднем по предприятиям более 70 % от общей численности работников. Очевидно, период определенного омоложения связан с реструктуризацией производства и перераспределением численности работающих, уходом на пенсию старых работников.

Таблица 4 – Трудоустройство и адаптация на предприятиях региона выпускников металлургических специальностей

Основные категории трудоустраиваемых	% (от общего числа выпускников)
Нетрудоустроившиеся по окончании вуза	До 3,5
Специалисты–женщины, трудоустроившиеся с потерей квалификации или получением новой	До 10,0
Специалисты–мужчины, трудоустроившиеся с потерей квалификации или получением новой	До 7,0
Трудоустроившиеся или продолжающие трудиться на металлургических предприятиях:	До 79,5
– продолжающие трудиться на рабочих должностях после окончания вуза	До 32,5
– трудоустраиваемые на рабочие должности	До 22,5
– трудоустраиваемые и в дальнейшем работающие на уровне среднего звена специалистов	До 15,5
– выдвигающиеся в кадровый резерв и в дальнейшем занимающие должности ведущих и главных специалистов, руководителей	До 9,0
ВСЕГО	100

Анализ данных по административно–управленческому персоналу предприятий, показывает, что количество «управленцев», получивших образование в СибГИУ, является доминирующим и составляет от общего числа руководящего персонала на предприятии:

- на ОАО «ЗСМК» – 73 %.
- на ОАО «НКМК» – 82 %.
- на ОАО «Кузнецкие ферросплавы» – 96 %.
- на ОАО «НКАЗ» – 75 %.
- на ОАО «ГМЗ» – 17 %.



- на Абагурском филиале ОАО «Евразруда» – 37 %.

В связи с этим СибГИУ традиционно остается основной кузницей кадров для предприятий металлургического профиля Кузбасса.

Ориентируясь на мнение отдельных экспертов, возникает впечатление некоторого переизбытка инженерных кадров в области металлургии, однако оно представляется кажущимся по следующим причинам:

- СибГИУ в одностороннем порядке в соответствии с реальными потребностями рынка труда сократил подготовку инженеров–металлургов: 80–90 гг. – 5300, 91–2000гг. – 3120, 2001–2010 гг. – ожидаются на уровне 2400–2500 чел.;
- оценка успешности карьеры выпускников металлургов на предприятиях региона выявила три уровня: 25-30 % – руководители, главные и ведущие специалисты, еще до 30 % – среднее звено и еще треть – это растворившиеся в рабочей среде;
- в России восстанавливается межрегиональный кадровый обмен. Сегодня в заказчиках инженеров – металлургов ОАО «Северсталь», ОАО «Тулачермет», ОАО «Волгоградский алюминиевый завод», и др. предприятия России;
- металлургические предприятия региона привыкли жить и работать в условиях определенного избыточного инженерно–кадрового комфорта, например на ЗСМК конкурс на одно место руководителя или специалиста среднего звена составляет 6–7 чел, относительное число инженеров, занятых на соответствующих квалификации должностях составляет 11,6 % (для сравнения в Великобритании, США, Франции, ФРГ, Швеции – 2,8-3,7 %).

Потребность металлургических предприятий в специалистах с высшим профессиональным образованием сохранится как минимум в ближайшие 3 года. Однако эта потребность носит скорее текущий характер и связана с естественной заменой кадров. Исключение составляет ОАО «ЗСМК». Потребность работников с высшим образованием на этом предприятии в ближайшие 3-5 лет планируется уменьшить в 3 раза.

Приема на металлургические предприятия в данное время практически нет, они укомплектованы персоналом. А рынок труда насыщен специалистами с высшим образованием. Поэтому некоторые предприятия даже не планируют свою потребность в работниках, а действуют по принципу: «будет необходимость – примем». Инженерный потенциал на предприятии – достаточно избыточный.

В общем случае прогнозируется тенденция некоторого снижения потребности в инженерных кадрах на предприятиях. Причем выпускник вуза с его багажом теоретических знаний в данной экономической ситуации современному производству не всегда нужен, так как условия для раскрытия его потенциала и профессионального роста предприятие зачастую не способно предоставить. При этом кадрового «голода» для металлургических предприятий явно не предвидится, так как региональный рынок труда насыщен рабочими и специалистами с соответствующим профессиональным образованием.

### **Строительство**

Строительство в настоящее время представляет собой динамично развивающуюся отрасль народного хозяйства, наблюдается ежегодный существенный прирост объема выполняемых работ, отечественная и зарубежная промышленность предлагает большой ассортимент новых строительных, отделочных материалов, новых видов оборудования и более совершенных инструментов и приспособлений. Все это способствует постоянному изменению технологий производства строительных работ. Бурное развитие строительства и жилищно-коммунального хозяйства городов Кузбасса потребовало притока квалифицированных инженерных кадров. Перспективы и темпы развития отрасли в регионе предполагают рост кадровой потребности в ближайшие пять и более лет.

Спектр предприятий-потребителей выпускников строительного профиля гораздо более разнообразен. Всего в г. Новокузнецке и ближайшем регионе функционирует более 350 предприятий и организаций, занятых в сфере проектирования, производства строительномонтажных работ и торговли строительными материалами, изделиями и конструкциями, а также санитарно-техническими приборами и приборами и системами отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха. В том числе:

- 1) 53 проектные организации, разрабатывающие проекты зданий, сооружений, инженерных систем;
- 2) 197 организаций и фирм заняты строительством новых объектов и ремонтно-строительными работами;
- 3) 74 организации, обеспечивающих сооружение и функционирование систем водоснабжения и водоотведения и коммунальные услуги;
- 4) 51 организация, занятая в сфере вентиляции, кондиционирования и отопления;

5) 86 торговых организаций по продаже строительных материалов.

По оценкам выпускающих кафедр архитектурно-строительного факультета СибГИУ силами университета удовлетворяется не более 60 % потребности строительных организаций и предприятий региона в специалистах строителях с высшим образованием. К числу наиболее востребованных относятся «Промышленное и гражданское строительство», «Водоснабжение и водоотведение», «Городское строительство и хозяйство».

В частности, в СибГИУ, практически все выпускники кафедры водоснабжения и водоотведения 45-65 чел. в год, обучающиеся по специальностям «Водоснабжение и водоотведение» и «Городское строительство и хозяйство» уже на 5 курсе имеют договора с предприятиями о трудоустройстве.

Основными работодателями являются водоканалы городов Новокузнецка, Междуреченска, Осинников, Прокопьевска, Кемерово, ОАО «НКМК», «ЗСМК», Кузнецкое и Новокузнецкое управления «ЗапСибсантехмонтажа», проектные институты и многие частные фирмы; ЖКХ гг. Новокузнецка, Таштагола, Шерегеша, Междуреченска, ЗАО «Водсервис», Новокузнецкая управляющая компания, Домосеть-76 и др.

Таблица 5 – Прогноз потребности до 2010 гг. предприятий, организаций и учреждений Кемеровской области в специалистах с высшим профессиональным образованием в области горного дела, металлургии, строительства

Отрасль	Потребность, чел.									
	2005			2006			2007	2008	2009	2010
	потребность	выпуск	% обеспечения потребности	потребность	выпуск	% обеспечения потребности				
Металлургия	372	476	130	381	441	116	372	380	378	392
Горное дело	263	140	53	260	118	45	265	265	265	265
Строительство	259	260	100	267	241	90	294	277	268	288

СибГИУ, совместно с ЗАО «Водоканал» г. Новокузнецка разработана программа подготовки специалистов для предприятия, которая

предусматривает введение специальных должностей инженеров-стажеров, на которых, получая практические навыки, работают как студенты 5 курса, так и выпускники.

В СибГИУ непрерывно ведется мониторинг трудоустройства выпускников и прогнозирование потребности инженеров различных специальностей. Анализ получаемой информации показывает что 2005, 2006 гг. в службу занятости обратилось не более 1-1,5 % выпускников анализируемых специальностей. Прогноз потребности до 2010 гг., выполненный с участием кадровых служб наиболее крупных предприятий города и области выявил устойчивую потребность в специалистах, причем по некоторым специальностям превышающую их выпуск.

Таблица 6 – Результаты общего трудоустройства выпускников СибГИУ и 2005 и 2006г.

Отрасль	Количество выпускников, обратившихся в службу занятости			
	2005 г.		2006г.	
	чел.	% от общего числа выпуск- ников данного профиля	чел.	% от общего числа выпуск- ников данного профиля
Металлургия	6	1,3	3	0,7
Горное дело	1	0,7	1	0,8
Строительство	4	1,5	2	0,8

### 3. Качество подготовки инженерных кадров

Во многом востребованность и успех в эффективном использовании инженерных кадров предопределяются качеством того багажа знаний, который получает студент за весь период обучения в вузе. Как показывает современная действительность, для обеспечения его высокого уровня необходимы четкая ориентация на конкретного потребителя с его спецификой и требованиям к знаниям отдельных видов оборудования, технологий, производств. Для вузов с большими традициями и опытом подготовки специалистов по профильным специальностям обеспечение высокого качества подготовки инженеров, в соответствии с государственными образовательными стандартами, как правило не вызывает особых затруднений, а вот детальная ориентация на конъюнктуру рынка образовательных услуг и запросы предприятий–потребителей не всегда оказывается по силам. В значитель-

ной степени решению этой проблемы способствует создание в вузах систем менеджмента качества образовательной деятельности, основанных на ГОСТ ИСО серии 9000, в рамках которых «живое» и динамичное взаимодействие со студентами, потребителями выпускников и более того, трудоустроившимися и отработавшими некоторое время выпускниками является одной из обязательных и неотъемлемых частей системы. При этом анкетирование, социологические исследования и опросы в процессе выявления степени удовлетворенности потребителей и выпускников, позволяют выявить области для улучшений в различных аспектах подготовки специалиста, повысив тем самым его конкурентоспособность и востребованность.

СибГИУ удалось на личном опыте ощутить преимущества системы менеджмента качества образовательной деятельности, основанной на ГОСТ Р ИСО серии 9001–2001, которая сертифицирована в университете в 2006г.

## ВЫВОДЫ

1. Metallургия, горное дело и строительство являются стабильно развивающимися отраслями экономики Кузбасса. Развитие металлургической отрасли происходит в основном за счет глубокой модернизации и наращивания мощностей действующих предприятий, перехода на новые перспективные металлургические технологии и оборудование. Горная промышленность наращивает темпы добычи в основном за счет введения в эксплуатацию новых мощностей, открытия шахт, разрезов. Строительство развивается по пути создания и укрупнения значительного количества предприятий и организаций, занятых в сфере проектирования, производства строительного-монтажных работ и торговли строительными материалами, изделиями и конструкциями, санитарно-техническими приборами и системами отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха. Предприятия горно-металлургического и строительного комплексов остро нуждаются в высококвалифицированных кадрах.

2. Оценка состояния профессионального образования Кемеровской области показывает:

- сложившаяся система по объему подготовки инженерных, их квалификационно-профессиональной структуре способна обеспечить постоянное обновление и воспроизводство регионального кадрового потенциала, решение тактико-стратегических задач региональной кадровой политики,

- практически отсутствует потребность в «импорте» образовательных услуг из близлежащих регионов, а необходимый уровень наращивания выпуска специалистов по отдельным специальностям в периферийных районах может быть реализован за счет сети филиалов ведущих вузов Кузбасса.

3. Развитие эффективных партнерских отношений промышленных предприятий с учреждениями высшего профессионального образования, в плане воспроизводства и использования специалистов, усиление связи науки с производством, позволяет повысить качество подготовки инженерных кадров, помочь в адаптироваться молодежи в профессиональной сфере, максимально раскрыть потенциальные возможности молодых специалистов и заложить крепкий фундамент в основу формирования и развития регионального кадрового потенциала.

4. Подготовка специалистов в области горного дела, металлургии, строительства является весьма затратной. Фактические расходы вузов, обучающих студентов данных специальностей превосходят объемы финансирования из средств федерального бюджета практически в 2 раза.

#### РЕКОМЕНДАЦИИ:

1. Назрела актуальность создания эффективной системы регионального регулирования и планирования объемов подготовки в вузах Кузбасса инженерных кадров в области металлургии, горного дела, строительства.

2. Руководству, службам подготовки и развития персонала промышленных предприятий, фирм и учреждений во взаимодействии с управляющими компаниями обосновывать целесообразность и необходимость участия в подготовке инженерных кадров в различных формах: целевая подготовка, корпоративное объединение и др.

3. Необходимо создание программ и реализация мероприятий по повышению престижности и популярности специальностей металлургического и горного направления у молодежи и населения Кузбасса, активная пропаганда среди подрастающего поколения традиций металлургии и горного дела Кемеровской области.

УДК 378.11

С.М. Кулаков, Н.Ф. Бондарь, А.А. Башмакова

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

## О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ РЕЙТИНГОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ КАФЕДР УНИВЕРСИТЕТА

На основе обзора публикаций и накопленного опыта разработки рейтинговых систем управления коллективами выполнен системный анализ действующей системы оценивания рейтинга кафедр и факультетов крупного университета. Предложена новая функциональная структура системы рейтингового управления кафедрами и факультетами. При этом значительно расширена управляемость и мотивированность трудовых коллективов.

On the base of review of publications and cumulative experience of collectives control rating systems development was carried out systems analysis of acting chair and department rating evaluation system of large-scale university. We suggest new functional structure of chair and department rating control system. At the same time were extended greatly controllability and validity of labour collectives.

Современная методология оценивания рейтинга учебных заведений и их структурных подразделений нашла признание и широкое применение в учреждениях высшего профессионального образования России. В частности, рейтинг университета, сложившийся за последние пять лет учитывается в процедурах лицензирования, аттестации и аккредитации. Вместе с тем используемые показатели и процедуры оценивания их значений по итогам года требуют осмысливания, анализа и дальнейшего совершенствования. Особенно это касается рейтинга внутривузовских структурных подразделений – кафедр и факультетов. В данной работе вопросы анализа и совершенствования системы оценивания рейтинга и преобразования её в систему управления деятельностью кафедр и факультетов рассматриваются на примере Сибирского государственного индустриального университета, опыт которого отражен в публикациях [1].

Целью рейтинговой системы управления (РСУ) кафедрами и факультетами вуза следует считать выполнение лицензионных, аккредитационных и аттестационных показателей, устанавливаемых Федеральным агентством для всех вузов России, и, наряду с этим, формирование новых ценностей, целей и стандартов в сфере образования и науки [2]. Исходя из этой цели будем осуществлять анализ действующей системы оценивания рейтинга с опорой на следующие принципы её построения и функционирования:

1. Принцип соответствия верхних и нижних уровней рейтингового управления (отрасль, вуз, факультет, кафедра) по методологии, по перечню и структуре показателей деятельности, коэффициентам их относительной значимости, а также по критериальным уровням.

2. Принцип выбора рационального количества недублирующих друг друга показателей, учитывающих не только цели вышестоящего управляющего органа, но и собственные (инициативные) цели.

3. Принцип сочетания задаваемых Федеральным агентством по образованию или Администрацией вуза (обязательных, нормируемых) показателей деятельности с показателями, формируемыми (иницируемыми) кафедрой и отражающими продуцирование новых ценностей, целей и стандартов.

4. Принцип комплексного применения основных управляющих воздействий, а также мотивационных воздействий, представляющих собой рациональное сочетание материальных и нематериальных стимулов различных форм.

5. Принцип учёта специфики деятельности кафедр на основе декомпозиция их полного множества на два подмножества (две группы): выпускающие (профилирующие) и невыпускающие (общеобразовательные) кафедры.

6. Принцип усиления мотивации трудовых коллективов кафедр в пределах двух названных групп посредством категорирования кафедр [3].

Анализ действующей системы с точки зрения выполнения первого принципа показал, что в рейтинговой системе кафедр и факультетов СибГИУ учитываются далеко не все общеотраслевые показатели. Причём некоторые, точнее 7 из 37 показателей, не учитываются полностью (аспиранты дневной и очной формы обучения; количество защитивших диссертации в срок; внебюджетные средства кафедры, молодые кандидаты и доктора наук; общее количество ПК на кафедре), а ещё 10 из 37 учитываются лишь частично (с другим наименованием, другой расчетной формулой и коэффициентом значимости).



Очевидно, что приведение показателей деятельности кафедр и факультетов в соответствие с отраслевыми может коренным образом изменить их рейтинг.

Выполнение второго принципа в рейтинговой системе СибГИУ можно оценить на «хорошо». При этом, наряду с показателями, отражающими требования Федерального органа, используются дополнительные показатели, ориентированные на региональные и собственные цели вуза, связанные с его развитием. Дублирование показателей практически отсутствует. Дополнительные показатели учитывают участие кафедр в работе конференций и выставок разного уровня, количество полученных охранных документов и наград, выполнение научно-методических работ по проблемам региона и высшей школы, востребованность выпускников и т.д.

Третий принцип направлен на оптимизацию действующей рейтинговой системы путём обновления утвержденного перечня показателей деятельности за счёт тех показателей, которые отражают новые сферы деятельности коллективов кафедр. Например, создание новых лабораторий и установок, организация новых подразделений, привлечение средств спонсоров для модернизации оснащения кафедры, участие в создании технопарка и студенческих предприятий. Данный принцип реализуется в действующей системе не полностью и только на экспертной основе. В частности, в ней отсутствуют формализованные правила анализа и учета инициативных показателей или возможность оперативного формирования таких правил.

Четвертый принцип анализа следует рассматривать как один из важнейших, ибо без целенаправленных воздействий (управлений) рейтинговая система не эффективна. Применительно к кафедрам и факультетам вуза важными управлениями являются: изменение набора целевых показателей, их критериальных уровней и коэффициентов значимости (критериальное управление; изменение норм и нормативов, регламентирующих трудовую деятельность коллективов (нормативное управление); изменение выделяемых ресурсов и ограничительных условий (ограничительное управление).

Мотивационные воздействия (стимулы) должны быть направлены на согласование личных, кафедральных, факультетских и общеуниверситетских целей. Они подразделяются на две группы: материальные и нематериальные. К числу материальных относятся: повышение заработной платы, премии по результатам работы, различного рода доплаты и т.п.

Не менее важными являются и нематериальные стимулы, включающие социальный пакет, социальное признание и моральное стимулирование [4]. К социальному пакету относятся следующие основные формы стимулирования: повышение квалификации и обучение, организация питания, транспортное обслуживание, улучшение жилищных условий. Социальное признание может включать внесение в резерв на замещение должности, размещение на стенде почетных работников и в изданиях по истории вуза. К моральному стимулированию, в частности, относятся вузовские награды (дипломы, благодарности, почетные грамоты, присвоение звания «Ветеран труда» и «Заслуженный преподаватель СибГИУ»), областные и правительственные награды. Все названные формы оказывают значительное влияние на коллективы кафедр (факультетов) и способствуют улучшению заданных целевых показателей деятельности.

Подчеркнём, что основные и мотивационные управляющие воздействия должны рассматриваться и применяться в едином комплексе. В противном случае их эффективность резко снижается.

Действующая система оценивания рейтинга кафедр и факультетов не учитывает специфичность условий их работы, которая существенно влияет на показатели деятельности (см. пятый принцип). Главным фактором, определяющим эту специфику, является выпуск специалистов. По этому признаку кафедры естественно разделить на две группы: выпускающие (специальные) и не выпускающие (общеобразовательные). На рисунке 1 показана динамика количества выпускающих и невыпускающих кафедр, входящих в десятку лидеров, по основным направлениям деятельности.

Видно, что доля невыпускающих кафедр в числе лидеров по научной работе составляет 10-20%, по учебно-методической работе 10-30 %, по кадровому составу и подготовке высококвалифицированных научно-педагогических кадров 10-30%, а по всей совокупности показателей 10-20 %. Отсюда следует, что для усиления мотивации кафедр в части улучшения показателей деятельности, необходимо оценивать рейтинг и определять победителей каждой из двух групп отдельно. Степень мотивации при этом возрастает за счёт двукратного расширения множества призеров.

Признанным способом усиления мотивации трудовых коллективов является их классификация по категориям, с которыми должны быть увязаны материальные и моральные стимулы (см. шестой принцип). Однако действующая система оценивания рейтинга кафедр это не предусматривает. Тем самым снижается управляемость трудовых коллективов и показатели их деятельности.

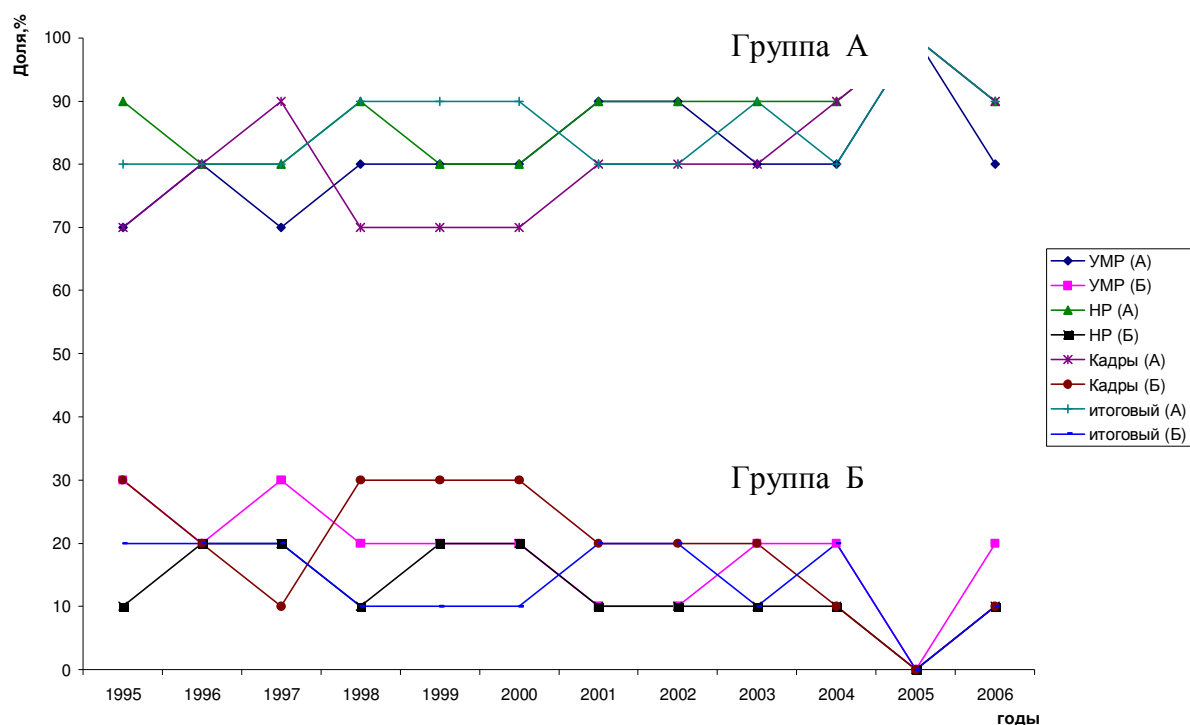


Рисунок 1 – Динамика доли выпускающих (группа А) и невыпускающих (группа Б) кафедр в десятке лидеров по учебно-методической работе (УМР), по научной работе (НР), по комплексному показателю «Кадры», по итоговому комплексному показателю.

В соответствии с [3] предлагается в каждой из групп А и Б кафедр ввести три категории: высшая, первая, вторая. Категории присваиваются приказом ректора на основе рейтинга, установленного по результатам истекшего года. Правило такого присвоения может иметь вид:

$$P_i^A = \begin{cases} \text{высшая, если } R_i^A \leq 5, \\ \text{первая, если } 6 \leq R_i^A \leq 10, \\ \text{вторая, если } R_i^A \geq 11 \end{cases}, \quad P_j^B = \begin{cases} \text{высшая, если } R_j^B \leq 5, \\ \text{первая, если } 6 \leq R_j^B \leq 10, \\ \text{вторая, если } R_j^B \geq 11 \end{cases}$$

где  $P_i^A$ ,  $P_j^B$  – категория  $i$ -ой кафедры группы А,  $j$ -ой кафедры группы Б соответственно;  $i \in I^A$ ,  $j \in J^B$ ;  $R_i^A, R_j^B$  – ранг  $i$ -ой,  $j$ -ой кафедры в упорядоченной последовательности кафедр групп А, Б соответственно.

Категории факультета определяются по правилу, аналогичному правилу для кафедр.

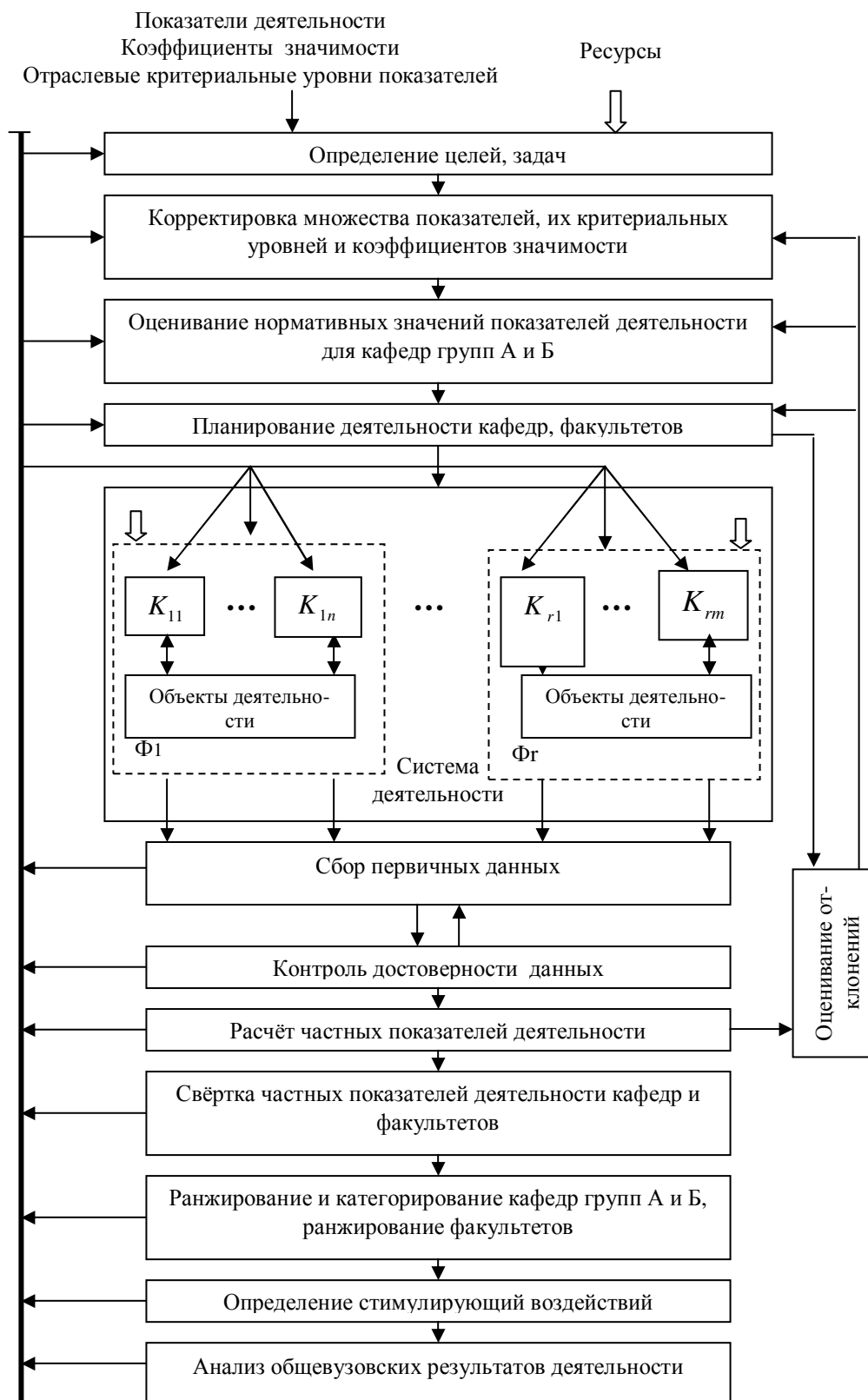
К числу возможных материальных и моральных стимулов кафедр, определяемых с учетом их категорий, относятся надбавки к основной заработной плате (например, 5 % – для сотрудников кафедр высшей ка-

тегории, 3 % – для сотрудников кафедр первой категории и 0 % – для сотрудников кафедр второй категории), выделение средств для приобретения компьютерной и другой техники, награждение грамотами и дипломами, размещение на стенде коллективов – лидеров и т.д.

Исходя из вышеизложенного краткого анализа, а также с учётом ранее выполненных исследований [5] разработана новая функциональная структура системы рейтингового управления кафедрами и факультетами университета, которая представлена на рисунке 2. В данной структуре устранены основные структурные недостатки действующей системы, в том числе, на основе расширения множества управляющих воздействий, категорирования коллективов, применения нормирования и технологии контролинга, увеличена управляемость и мотивированность деятельностных агентов (кафедр). Последнее позволит в значительной степени повысить эффективность работы коллективов в условиях динамичности внешней обстановки и реформ, осуществляемых Минобрнауки РФ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов П.Г. Рейтинговая система управления вузом: опыт применения и перспективы / П.Г. Белоусов, Н.М. Кулагин, Г.В. Галевский, Л.Н. Баранова, Д.А. Фадеева // Основные вопросы функционирования регионального университетского центра в современных социально-экономических условиях: Сборник научных трудов: СибГИУ. – Новокузнецк, 2002. – С. 41-75.
2. Шаталова Н. Горячие десятки / Н. Шаталова // Поиск. – 2007. – № 8. – С.7.
3. Арсентьев Д.Г. Система категорирования кафедр как элемент управления качеством образования / Д.Г. Арсентьев, В.А. Долгополов, А.И. Сурыгин // «Высокие интеллектуальные технологии и инновации в образовательно-научной деятельности». Материалы XIII Международной научно-методической конференции. – С-Пб: Изд-во Политехнич. ун-та, 2006. – С. 62-63.
4. Манакова С.Н. Формы и методы нематериального стимулирования в ОАО «ЗСМК» / С.Н. Манакова // «Металлургия ....» – Новокузнецк: СибГИУ, 2005. – С. 316-323.
5. Кулаков С.М. О системе рейтингового управления производственным коллективом / С.М. Кулаков, Е.В. Петров, Н.Ф. Бондарь // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2006. – № 4. – С. 56-62.



$K_{11}, \dots, K_{1n}; K_{r1}, \dots, K_{rm}$  – кафедры, входящие в состав факультетов  $\Phi_1, \dots, \Phi_r$

Рисунок 2 – Предлагаемая структура системы рейтингового управления подразделениями вуза

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Сборник научных трудов «Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии» подготавливается к печати Сибирским государственным индустриальным университетом совместно с отделением металлургии горно-металлургической секции РАЕН.

В сборник могут быть представлены работы по направлениям:

- металлургия черных и цветных металлов и сплавов;
- порошковая металлургия, композиционные материалы и покрытия;
- физика металлов и металловедение;
- экономика и управление на предприятиях;
- проблемы высшего образования.

Рукописи статей, оформленные в соответствии с нижеизложенными требованиями, направляются в Сибирский государственный индустриальный университет.

К рукописи прилагаются:

- разрешение ректора или проректора вуза на опубликование результатов работ;
- рекомендация соответствующей кафедры высшего учебного заведения или научного семинара академических институтов или отраслевых НИИ;
- рецензия, подготовленная специалистом, имеющим ученую степень, заверенная по месту работы рецензента,
- акт экспертизы, подтверждающей возможность опубликования работы в открытой печати;
- сведения об авторах (Ф.И.О. полностью, уч. степень, звание, вуз, служебный и домашний адрес, телефон).

Рукописи направляются в редакцию в одном экземпляре. Текст рукописи должен быть отпечатан на одной стороне стандартного листа белой бумаги формата А4 с полями 25 мм с каждой стороны. Объем статьи (включая аннотацию, иллюстрации, таблицы, библиографический список) не должен превышать 6-8 страниц машинописного текста, напечатанного через 1,5 интервала, размер шрифта 14 пт. Последнюю страницу рекомендуется занимать полностью.

Текст аннотации на русском и английском языке объемом порядка 1/4 страницы печатается через 1 интервал и помещается после заглавия статьи. Текст аннотации должен содержать только краткое описание публикуемого материала.

Иллюстрации представляются в одном экземпляре; они должны быть выполнены тушью на белой бумаге или кальке и скомпонованы на

одном или двух стандартных листах формата А4 (с полным их заполнением). Размер иллюстрации (иллюстраций) вместе с наименованием, поясняющей надписью и номером не должен превышать 250x170 мм. Страницы, занятые иллюстрациями, включают в общую нумерацию страниц.

Цифровой материал оформляется в виде таблиц, имеющих заголовки и размещаемых в тексте по мере упоминания. Не рекомендуется делить головки таблиц по диагонали и включать графу «№ п/п».

Перечень литературных источников должен быть минимальным. Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-84: а) для книг – фамилии и инициалы авторов, полное название книги, номер тома, место издания, издательство и год издания, общее количество страниц; б) для журнальных статей – фамилии и инициалы авторов, название статьи, полное название журнала, год издания, номер тома, номер выпуска, страницы, занятые статьей; в) для статей из сборника – фамилии и инициалы авторов, название статьи, название сборника, место издания, издательство, год издания, номер или выпуск, страницы, занятые статьей.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Иностранные фамилии и термины следует давать в тексте в русской транскрипции, библиографическом списке фамилии авторов, название книг и журналов приводят в оригинальной транскрипции.

В начале статьи указывается индекс УДК (ББК). Название организации приводится полностью и размещается после фамилии авторов. Первая страница рукописи подписывается внизу всеми авторами статьи. Число авторов не должно превышать пяти; количество публикаций одного автора – не более двух в одном выпуске.

Для создания современного облика настоящего сборника, улучшения качества печати предусмотрен компьютерный набор. Поэтому, наряду с вышеуказанными документами и отпечатанными на бумаге статьями, в адрес редколлегии необходимо выслать дискету с текстом статьи, включая таблицы и подрисуночные подписи. Набор текстового файла осуществляется в редакторе *Microsoft Word for Windows (ver. 6.0, 7.0. 97, 2000)*. Графические объекты представляются в файлах (любого графического формата). При отсутствии такой возможности высылаются рисунки, выполненные тушью на бумаге, фотографии – в оригинале.

Срок представления материалов для следующего выпуска «Вестника горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии» – до 1 марта 2008 г. Статьи направлять главному редактору по адресу: ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», 654007, г. Новокузнецк, Кемеровской обл., ул. Кирова, 42.

**Вестник горно-металлургической секции РАЕН.**

**Отделение металлургии**

*Сборник научных трудов*

Ответственный редактор Галевский Геннадий Владиславович

Компьютерный набор Темлянцева Е.Н.

Изд.лиц. № 01439 от 05.04.2000 г. Подписано в печать 1.02.2007 г.

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.

Усл.печ.л. 12,4 Уч.-изд.л. 13,2 Тираж 300 экз. Заказ 362

Сибирский государственный индустриальный университет

654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.

Издательство СибГИУ