

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

*Посвящается 15-летию
Российской академии
естественных наук*

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

Отделение металлургии

Сборник научных трудов

Издается с 1994 г. ежегодно

Выпуск 15

Под редакцией профессора Г.В. Галевского

Новокузнецк
2005

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. 15 / Редкол.: Г.В. Галевский (главн. ред.) и др.: Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2005. – 150 с., ил. ISBN 5–7806–0207–7

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, экологии, экономики и управления на предприятиях, проблем высшего образования.

Сборник статей предназначен для ученых, докторантов, аспирантов высших учебных заведений, инженерно-технического персонала промышленных предприятий и научно-исследовательских лабораторий, может быть полезен студентам вузов.

Федеральная целевая программа «Интеграция».
Сборник реферируется в РЖ Металлургия.
Ил. 45, табл. 27, библиогр. назв. 206

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. *М.В. Темлянец* (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

ISBN 5–7806–0207–7

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2005

СВЕДЕНИЯ О РУКОВОДИТЕЛЯХ АВТОРСКИХ КОЛЛЕКТИВОВ

Бурyleв Б.П.	д-р техн. наук, проф., д.ч. Нью-Йоркской АН, ОАО НИИМонтаж, г. Краснодар
Воскресенская Т.П.	д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РАЕН, СибГИУ, 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 энер- го-информационных наук, СибГИУ, г. Новокузнецк
Дегтярь В.А.	д-р. хим. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Козлов Э. В.	д-р. ф.-м.н., проф., д.ч. 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, СибГИУ, г. Новокузнецк
Минцис М.Я.	канд. техн. наук, проф., д.ч. МАНЭБ, СибГИУ, г. Новокузнецк
Павленко С.И.	д-р техн. наук, проф., чл.-корр. Международной Академии ин- женерных наук, д.ч. Нью-Йоркской АН, д.ч. МАН ВШ, СибГИУ, г. Новокузнецк
Протопопов Е.В.	д-р техн. наук, проф., чл.-корр. Международной Академии энерго-информационных наук, СибГИУ, г. Новокузнецк
Селянин И.Ф.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Черепанов К.А.	д-р техн. наук, проф., д. ч. МАНЭБ, чл.-корр. САН ВШ, НФИ КемГУ, г. Новокузнецк
Якушевич Н.Ф.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	6
МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	7
<i>Г.В. Галевский, М.Я. Минцис, С.Г. Галевский</i>	
Алюминиевая промышленность России – достижения и проблемы.....	7
<i>Е.В. Протопопов</i>	
Современное состояние металлургического комплекса Кузбасса	11
<i>Б.П. Бурyleв, В.Е. Крицкий, Е.Б. Крицкая</i>	
Прогнозирование растворимости и активности углерода и металлов в расплавах систем Cr-C, V-C и Ti-C при сверхвысоких температурах.....	14
<i>В.Е. Крицкий, Б.П. Бурyleв, Е.Б. Крицкая</i>	
Расчет активности и растворимости кислорода в жидких хроме, ванадии и титане при высоких температурах.....	19
<i>Г.В. Галевский, П.А. Демькин, М.Я. Минцис</i>	
Изучение влияния заземления серии на процесс электролиза, с помощью модели, составленной в программе «Electronics Workbench».	22
<i>В.А. Дорошенко, Б.В. Дорошенко</i>	
Физические свойства промышленных фосфористых конвертерных шлаков.....	29
<i>М.В. Темлянецев</i>	
Ограничения на технологические и управляющие параметры при форсированном нагреве шарообразных стальных тел.....	31
<i>В.А. Дегтярь, В.В. Лялин</i>	
Экологически безопасные оксидные флюсы в производстве алюминия и его сплавов.....	34
<i>В.Б. Деев, А.П. Войтков, И.Ф. Селянин</i>	
Зависимость параметров кристаллизации литейных сплавов от наследственности шихты... 36	
<i>В.Б. Деев, А.П. Войтков, И.Ф. Селянин</i>	
К исследованию предвсадочного расширения алюминиевых сплавов.....	41
<i>В.В. Орлов</i>	
Особенности внедрения новых футеровок сталеразливочных ковшей на отечественных металлургических предприятиях	46
ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	49
<i>О.А. Полях, Г.В. Галевский, Н.Ф. Якушевич</i>	
Анализ физико-химических процессов образования и исследование свойств микрокремнезема.....	49
<i>О.А. Полях, Г.В. Галевский</i>	
Оценка микрокремнезема в качестве сырьевого материала технологических процессов	56
ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ.....	61
<i>М.В. Темлянецев</i>	
Определение максимальных температур нагрева перед прокаткой рельсовой электростали 61	
<i>Н.А. Попова, С.И. Климашин, Н.А. Конева, В.Е. Громов, Э.В. Козлов</i>	
Дислокационные превращения при отпуске литой среднелегированной стали	64
<i>В.Г. Кондратьев, Н.В. Котова</i>	
Определение пластичности металлов методом скручивания.....	66
<i>Т.Н. Осколкова</i>	
Изучение структуры твердого сплава ВК10КС после закалки в водополимерной охлаждающей среде.....	70
<i>Н.А. Попова, В.А. Малиновская, Э.В. Козлов</i>	
Влияние термообработки на структуру нитроцементованной стали 20X2H4A	73

<i>В.И. Петров, К.А. Лисицын, Н.Д. Калюкина, В.А. Петрова</i> Эксплуатация паропроводов из стали 12Х1МФ: структура и свойства металла	76
<i>В.А. Петрова, В.И. Петров, А.Ф. Софрошенков</i> Формирование градиентных структурно-фазовых состояний и их влияние на свойства составного сварного инструмента.....	80
<i>В.Р. Микрюков, А.П. Семин, Ю.Ф. Иванов, А.Б. Юрьев, В.Я. Чинокалов</i> Деградация структуры и свойств строительной арматуры в процессе эксплуатации.....	84
ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	87
<i>Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, В.Б. Деев, Е.Г. Майсеенок</i> Востребованность и эффективность использования рабочих кадров и специалистов металлургического профиля на предприятиях региона.....	87
<i>С.М. Кулаков, Е.В. Петров, А.А. Югов, Н.Ф. Бондарь</i> О критериях эффективности работы службы управления персоналом	91
<i>С.М. Кулаков, А.И. Мусатова, Л.Г. Валишевская</i> О прогнозировании финансовых результатов работы металлургического комплекса с учетом его производительности	97
<i>Н.Ф. Бондарь, А.В. Федосеева</i> Прогнозирование электроснабжения промышленного предприятия.....	101
<i>М.В. Пургина, Т.П. Воскресенская</i> Повышение эффективности управления запасами готовой продукции металлургических предприятий в процессе их формирования.....	105
<i>К.А. Черепанов, М.В. Темлянец, А.А. Терре, А.Н. Бебко</i> К вопросу о переработке и утилизации боя огнеупорных изделий, образующегося при ремонтах тепловых агрегатов	109
<i>С.И. Павленко, Е.А. Автушко, Н.В. Захарова, Н.С. Анашкин, Т.С. Юсупов</i> Исследование немагнитных фракций переработанных отвальных мартеновских шлаков на ООО «Сталь НК» с целью извлечения из них оксидов железа	112
<i>Е.В. Корнеева, С.М. Смирнов, С.И. Павленко</i> Перспективы применения техногенных отходов металлургического производства для закладки выработанных пространств угольных и рудных шахт	116
ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	121
<i>Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, Л.Г. Рыбалкина, В.Б. Деев, Е.Г. Майсеенок</i> Воспроизводство рабочих кадров и специалистов металлургического профиля	121
<i>Г.В. Галевский, Т.А. Дмитриева, Т.В. Киселева, В.В. Руднева, С.Г. Галевский</i> Подготовка кадрового резерва в структуре корпоративного университета	134
<i>Е.В. Протопопов, Л.А. Ганзер</i> Формирование навыков управления технологическим процессом непрерывной разливки стали на тренажере оператора МНЛЗ.....	140
<i>В.Е. Громов, Н.К. Дорошенко, Т.В. Ерилова, З.А. Масловская</i> Физический подход к экологическому образованию студентов (на примере радиоактивности).....	144
ОТКЛИКИ И РЕЦЕНЗИИ	148
<i>К.А. Черепанов</i> Рецензия на монографию «Трещинообразование в процессах нагрева и охлаждения сталей и сплавов» / М.В. Темлянец, Т.Н. Осколкова. – М.: Флинта: Наука, 2005. – 195 с.....	148
К сведению авторов	150

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий выпуск вестника посвящен 15-ти летнему юбилею Российской Академии естественных наук, которая создана учредительным съездом 31 августа 1990 г. по инициативе ученых России, представлявших академическую, вузовскую и отраслевую науку. Несмотря на столь небольшой возраст РАЕН успела в значительной степени реализовать свою главную цель: *«Свободное творческое объединение научных сил России для развития и преумножения ее интеллектуального потенциала, содействующего активному использованию науки на благо отечества»*.

Сегодня отделения РАЕН открыты в более чем 60 городах России, а количество ее членов достигает 4000 человек, среди которых лауреаты Нобелевской, Ленинской и Государственных премий, члены Российской Академии наук, заслуженные деятели науки и техники Российской Федерации, авторы научных открытий. В настоящее время Академия включает в себя 24 центральные секции, в рамках которых горно-металлургическая занимает одно из ведущих положений, более 100 региональных и тематических отделений, научных центров.

15-й юбилейный выпуск вестника горно-металлургической секции РАЕН, отделения металлургии содержит сведения о последних научных достижениях ученых России, занимающихся вопросами черной и цветной металлургии, материаловедения, экологии, экономики и управления, подготовкой кадров для металлургических предприятий. В нем представлены результаты как теоретических, так и экспериментальных исследований по актуальным для промышленных предприятий проблемам современной металлургии и материаловедения. Прикладной характер многих исследований направлен на совершенствование технологий производства и обработки металлов в металлургии и машиностроении, повышение качества и конкурентоспособности отечественной металлопродукции.

Ежегодное увеличение количества публикаций и авторских коллективов, печатаемых на страницах вестника, свидетельствует о его нарастающей популярности и актуальности рассматриваемых вопросов. Редакционная коллегия благодарит авторов за участие и приглашает читателей к дальнейшему творческому сотрудничеству.

УДК 669.71

Г.В. Галевский, М.Я. Минцис, С.Г. Галевский

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

АЛЮМИНИЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ РОССИИ – ДОСТИЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ

Проведен анализ современного состояния алюминиевой промышленности России. Отмечено, что проблемами, сдерживающими ее развитие, являются обеспечение глиноземом, электродными материалами, устаревшая конструкция используемых электролизеров, низкоэффективная структура товарной продукции.

В канун окончания второй мировой войны алюминиевая промышленность России представляла собой три действующих цеха с годовой производительностью немного более 100 тыс. т алюминия в год.

В послевоенные годы бурное развитие отечественной алюминиевой промышленности началось в 60-е гг. XX века на базе освоенных к тому времени электролизеров с самообжигающимися анодами и верхним подводом тока. В середине 80-х гг. в России работало уже 9 алюминиевых заводов с годовой производительностью более 2600 тыс. т., в том числе крупнейшие в мире Братский (814 тыс. т/г) и Красноярский (749,1 тыс. т/г) алюминиевые заводы [1].

В настоящее время алюминиевая промышленность России включает 11 алюминиевых заводов, принадлежащих двум компаниям – РУСАЛ и СУАЛ. Их годовая производительность составляет около 3,5 млн. т. алюминия в год. По этому показателю алюминиевая промышленность России занимает второе место в мире, обогнав США и уступая первенство только бурно развивающейся алюминиевой промышленности Китая.

Несмотря на несомненные успехи в увеличении выпуска металла, в отечественной алюминиевой промышленности имеется много нерешенных проблем, сдерживающих ее дальнейшее развитие. Основными из них являются обеспечение производства алюминия сырьем (глиноземом и электродными материалами) и устаревшая конструкция исполь-

зуемых электролизеров. Рассмотрим подробнее эти проблемы.

Обеспечение глиноземом. Несмотря на разнообразие алюминийсодержащих руд (нефелины, алуниты и пр.), наиболее экономичным для производства глинозема – основного сырья для производства алюминия – является использование различных видов бокситов. К сожалению, основные месторождения бокситов расположены в приэкваториальной зоне (около 33 % – в Южной Америке, 27 % – в Африке, 17 % – в Азии, 13 % – в Австралии и Океании). В России крупных месторождений качественных бокситов практически нет. Сравнительно небольшие месторождения бокситов Урала, железистые бокситы Среднего Тимана и мелкие месторождения Тихвина почти иссякли [1].

В пределах России 5 работающих глиноземных заводов производят около 3 млн. т/год, что составляет менее половины потребности отрасли в этом основном виде сырья. При этом около 1 млн. т. трудно перерабатываемого вида глинозема производит Ачинский глиноземный комбинат, использующий в качестве руды нефелин.

Исторически сложившуюся диспропорцию в производстве глинозема и алюминия успешно пытаются преодолеть компании РУСАЛ и СУАЛ. Приобретя Николаевский глиноземный завод (НГЗ), компания РУСАЛ прилагает немалые усилия по доведению его производительности до 1,5 млн. т/г. Компания, выкупив мощные месторождения бокси-

тов в Киндии (Гвинея), обеспечила НГЗ надежными поставками сырья. Одновременно ведется подготовка к строительству глиноземного завода в Гвинее на базе бокситов Киндии.

Самым крупным вкладом в расширение сырьевой базы РУСАЛа стало приобретение акций крупнейшего в мире глиноземного предприятия Queensland (Австралия) и покупка Бокситогорского (производительностью около 125 тыс. т/г) глиноземного завода. Это позволит резко увеличить производство глинозема на заводах этой компании.

Одновременно ведутся работы по разведке и добыче бокситов на трех участках Северо-Онежского месторождения с общими запасами 800 млн. т, а также совместные разработки месторождения бокситов в Гайане, что согласовано с правительством этой страны.

Значительные средства вкладывает компания СУАЛ в разработку месторождения бокситов Тимана, откуда уже поступает боксит на алюминиевые заводы Урала, принадлежащие этой компании. Проектная мощность этого рудника составит 4,25 млн. т/год и на его базе в последствии предполагается построить глиноземный завод производительностью 1 млн. т/г.

Таким образом, принимаемые меры, вероятно в течение 5-10 лет, позволят надежно обеспечить алюминиевую промышленность России основным видом сырья. Но, учитывая удаленность отечественных предприятий от границы, транспортные расходы на перевозку бокситов и глинозема будут заметно выше, чем у основных зарубежных производителей этих видов продукции.

Обеспечение электродными коксами. На производство каждой тонны алюминия требуется около 0,5 т электродного кокса для изготовления анода. В качестве электродного сырья применяются пековый и нефтяной коксы, причем потребление пекового кокса постоянно сокращается и в настоящее время составляет не более 6 %.

Фактический выпуск нефтяных коксов в России составляет около 1 млн. т. (в США – 31 млн.т.). Поэтому имеющийся дефицит более чем в 500 тыс. т. приходится восполнять за счет импорта. Лишь после планируемого ввода установок замедленного коксования (УЗК) на нефтеперерабатывающих заводах в Ачинске и Комсомольске-на-Амуре потребность в этом виде сырья в алюминиевой промышленности будет на некоторое время удов-

летворена. Однако планируемое в ближайшие годы расширение производства алюминия вновь потребует решения вопроса обеспечения отрасли нефтяным коксом. Переход на отечественные коксы резко снизит транспортную составляющую в его цене и стабилизирует качество поставляемого сырья [2].

Конструкция электролизеров. Вводимые в строй в последние 2-3 десятилетия алюминиевые заводы оснащаются исключительно электролизерами с предварительно обожженными анодами (ОА). Электролизеры этого типа обладают рядом преимуществ перед электролизерами с самообжигающимися анодами (СОА): выход по току на них на 5-7 % выше, а производительность более чем вдвое превосходит самые крупные электролизеры с СОА. Но основным достоинством электролизеров ОА является высокая экологичность: при их эксплуатации полностью отсутствуют выбросы в атмосферу смолистых веществ, содержащих значительное количество канцерогенных соединений, а использование сухих методов очистки отходящих газов практически на порядок снижает выбросы фторидов. Поэтому этот тип электролизеров не требует широкой санитарно-защитной зоны, а вышеуказанные достоинства привели к тому, что ряд компаний заменяют электролизеры с СОА на электролизеры с ОА. Поэтому к концу XX-го века количество алюминия, производимого на электролизерах ОА во всем мире, составляло 68,84 %, в Европе, Америке и Азии – 73-77 %, в Австралии – 100 %, а в России – только 13,75 %. Перевод алюминиевой промышленности России на электролизеры с ОА требует затрат в 10-12 млрд. долларов США, а окупаемость таких инвестиций составит не менее 15-20 лет. Поэтому такая реконструкция основного оборудования в настоящее время не реальна.

Однако возможности повышения эффективности использования электролизеров с СОА еще далеко не исчерпаны и для решения этих проблем могут быть использованы следующие меры. Опыт работы Красноярского алюминиевого завода (КраАЗ) по использованию технологии «сухого» анода, разработанного компанией «Кайзер», показывает, что применение этой технологии в десятки раз снижает эмиссию смолистых соединений в атмосферу, что резко улучшает санитарно-гигиеническую обстановку вокруг завода, снижает выход пены и уменьшает расход анода. Многолетние исследования, проводимые

на ряде заводов отрасли, привели к созданию работоспособной конструкции системы автоматического питания электролизеров глиноземом (АПГ). Весьма отраднo, что различные конструкции этих систем успешно внедряются как на электролизерах с ОА, так и на электролизерах с СОА с боковым (БТ) и верхним (ВТ) подводом тока. Применение систем АПГ, снижая частоту и длительность анодных эффектов, уменьшает потребление энергии и выбросы вредных соединений в окружающую среду. Внедрение систем АПГ на электролизерах с СОА позволит уменьшить расстояние между анодом и бортом ванны и увеличить катодную плотность тока. Это приведет к повышению выхода по току, увеличению силы тока и производительности серий электролиза.

Значительные возможности увеличения производительности электролизеров и снижения выбросов вредных веществ в окружающую среду может дать использование фтористого лития в качестве добавки в электролит, которая снижает температуру плавления электролита, повышает его электропроводность, снижает эмиссию газообразного фтора в атмосферу [3]. Зарубежные компании успешно применяют карбонат лития. Американские компании используют 30 % всего карбоната, потребляемого мировой алюминиевой промышленностью; канадские компании – 29 %, а Россия только 3 %. Карбонат лития, приобретаемый у Чилийской компании SQM, успешно использует только Богословский алюминиевый завод. Россия в Прибайкалье и Читинской области располагает богатейшими запасами литийсодержащих рассолов, технология переработки которых на карбонат лития отработана и доведена до промышленного уровня. Расчеты показали, что только заводы компании РУСАЛ, применяя эти добавки, могут увеличить производство алюминия не менее чем на 110-120 тыс. т/год, снизить расход энергии, уменьшить эмиссию фторидов в атмосферу. Окупаемость этой технологии даже на импортном сырье составляет не более 3 мес.

На некоторых отечественных заводах в ближайшие годы истекает срок службы выпрямительных агрегатов, установленных на преобразовательных подстанциях, и их придется заменять. Представляется целесообразным рассмотреть возможность удлинения действующих серий и доведения их напряжения до 1200-1500 В, что снизит капитальные

вложения на замену трансформаторов и уменьшит потери энергии на преобразование. Существующие на некоторых заводах, так называемые «короткие» серии с напряжением 400-450 В, безусловно полезно объединить до напряжения 800-1350 В.

Важнейшей задачей, стоящей перед отечественной алюминиевой промышленностью, является увеличение срока службы электролизеров. В этом направлении сделано немало, но срок службы отечественных электролизеров до сих пор нельзя признать удовлетворительным. Так, по данным 2003 г., срок службы электролизеров БТ составил 1707 суток; электролизеров ВТ – 1452 суток, а мощных электролизеров с ОА – только 1430 суток. В тоже время за рубежом допустимым сроком службы считают не менее 1800 суток.

Для повышения срока службы, и в первую очередь, мощных электролизеров с ОА и электролизеров ВТ (составляющих основной парк отечественных производственных мощностей), необходимо решить следующие основные задачи – улучшить конструкцию катодного кожуха, футеровки, а также технологию обжига, пуска и проведения послепускового периода.

Используемые в России катодные кожухи значительно тяжелее аналогичных зарубежных конструкций, на них отсутствуют устройства для компенсации напряжений, возникающих в период обжига, пуска и в начальной стадии послепускового периода, что приводит к значительной деформации кожуха, а зачастую и катодных блоков. Широко применяемые в Норвегии сжимаемые вставки между кожухом и футеровкой резко снижают эти усилия, не уменьшая до недопустимого значения обжатия футеровки. Поэтому срок службы электролизеров на заводах Норвегии почти на год больше отечественных.

На некоторых типах электролизеров, в том числе на самом широко распространенном электролизере типа С-8Б и С-8БМ, ширина периферийного торцевого шва достигает почти 300 мм, что является самым ненадежным местом в конструкции ванны. Произошло это из-за применения некорректной методики расчета подины ванны. В настоящее время предложена более совершенная методика, полностью исключая подобные явления [1]. На действующих электролизерах необходимо пересмотреть конструкцию футеровки на всех типах ванн и, по возможности, принять меры к ее улучшению.

При капитальном ремонте используются катодные блоки разных, в том числе импортных, производителей, что негативно сказывается на сроке службы. Необходимо найти общие подходы к оценке качества электродной продукции, выпускаемой отечественной промышленностью и, благодаря этому стабилизировать качество электродной футеровки.

При сравнении огнеупорных и теплоизоляционных изделий отечественного и зарубежного производства, используемых в футеровке ванн, видно низкое качество отечественной продукции. Применение отечественной теплоизоляционной и огнеупорной продукции действительно обходится дешевле, но при этом срок службы резко снижается и в результате затраты на капитальный ремонт ванн растут.

Для увеличения срока службы электролизеров, снижения расхода электроэнергии следовало бы более широко провести испытания пасты ТИНОР, разработанной швейцарской компанией MOLTECH [4]. Зарубежный опыт свидетельствует о высокой эффективности этой пасты, которая улучшает смачивание катодных блоков алюминием, снижает переходное сопротивление между алюминием и подиной, улучшает распределение тока в катод. Это мероприятие не требует значительных капитальных затрат, но может весьма положительно отразиться на показателях работы электролизеров.

Разработанные и используемые на ряде заводов установки для обжига ванн после ремонта показали высокую эффективность. Не-

обходимо ускорить внедрение установок на всех заводах, продолжить совершенствование их конструкции и оптимизацию технологии обжига футеровки.

Реализации рассмотренных предложений позволят стабилизировать работу отрасли, снизить себестоимость продукции, увеличить срок службы ванн, снизить расход электроэнергии и дорогостоящего сырья.

Несмотря на определенные успехи, достигнутые отечественной алюминиевой промышленностью, полезно напомнить, что доля товарной продукции в чушках, у компаний АЛКОА и АЛКАН в среднем составляет около 15 %, а у российских компаний – более 70 %. Поэтому, при практически одинаковом выпуске продукции в тоннаже, компания АЛКОА в 2001 г. получила чистую прибыль 908 млн. дол., а российские компании – только 70 млн. дол. Поэтому выбор и организация производства высокоэффективных видов продукции должны быть главной задачей менеджмента российских компаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галевский Г.В. Металлургия алюминия. Мировое и отечественное производство: оценка, тенденции, прогнозы / Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис. – М.: Флинта-Наука, 2004. – 278 с.
2. Янко Э.А. Аноды алюминиевых электролизеров / Э.А. Янко. – М.: Руда и металлы, 2001. – 672 с.
3. Материалы компании SQM.
4. Материалы компании MOLTECH.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА КУЗБАССА

Рассмотрено состояние современного металлургического комплекса Кузбасса. Кратко охарактеризованы металлургические предприятия – показаны этапы их становления в условиях переходного периода российской экономики, затронуты технологические аспекты и особенности производства, дан прогноз дальнейшей стратегии.

За последние пять лет объемы выпуска металлопродукции, структура и технический уровень производства, а также условия работы металлургических предприятий Кузбасса значительно изменились, что обусловлено целым рядом объективных факторов, в том числе таких, как смена формы собственности, изменение экономических показателей деятельности комплекса в целом и т.д. В металлургической отрасли Кузбасса достаточно успешно функционируют крупнейшие финансово-промышленные группы, к которым прежде всего можно отнести «ЕвразХолдинг», в состав которого входят ОАО «ЗСМК», ОАО «НКМК» и ряд других дочерних предприятий.

Так, ОАО «ЗСМК» является одним из крупнейших металлургических комбинатов региона, входит в четверку гигантов черной металлургии России, обладает замкнутым металлургическим циклом с одним из наиболее эффективно работающих в стране сталеплавильным производством. ОАО «ЗСМК» – российский лидер по производству строительного проката и важнейший экспортер заготовки на азиатский рынок. Предприятие совершило за последние пять лет наиболее впечатляющий скачок по увеличению объемов производства и прошло за это время путь от банкротства к высокорентабельной работе всех переделов.

Однако изначально по ряду объективных причин не оптимально сформированная технологическая концепция комбината: использование устаревшей технологии разлива в изложницы, некоторая ограниченность ассортимента производимой продукции и высокая степень зависимости от рынка сортовой заготовки потребовала разработки и реализации программы коренной реконструкции, в том

числе полного перевода сталеплавильного производства на непрерывную разливку стали со значительным расширением его технологических возможностей.

Например, в ККЦ №2 введена в эксплуатацию после реконструкции бездействовавшая сортовая МНЛЗ мощностью 1,3 млн. т стали в год. В 2005 году будет построена слябовая МНЛЗ производительностью 2,4 млн. т слябов в год, в настоящее время строится двухпозиционная установка «печь-ковш». В ККЦ №1 будут построены 3 сортовые МНЛЗ и 2 установки «печь-ковш». В 2005 году будет введена в эксплуатацию практически новая доменная печь объемом 3000 куб. м, выдаст первый кокс новая коксовая батарея. В перспективе планируется строительство листопрокатного и нового проволочного станков.

В результате технического перевооружения и комплексной реконструкции ОАО «ЗСМК» будет производить более 7,0 млн. т высококачественной стали в год, с соответствующим объемом проката и других позиций товарной продукции и полностью соответствовать мировым требованиям эффективно работающей металлургической корпорации.

Переход на новые передовые технологии повлечет за собой закрытие некоторых участков и цехов комбината (блюминга, цеха подготовки составов и т.д.). При этом потребуются некоторая дополнительная переподготовка персонала для работы в новых условиях и на новом оборудовании. Важным представляется, что управляющая компания не планирует сокращения численности работающих, которая составляет в настоящее время около 30 тыс. человек, и даже при увеличении мощности производства возможен ее некоторый рост. Такие подходы реструктуризации пред-

приятый, очевидно, следует считать единственно возможными и правильными в местных условиях.

Прошло почти полтора года со дня вывода из банкротства легендарного КМК. Это уникальнейший случай в российской, да и в мировой практике, когда конкурсное производство на крупнейшем, градообразующем предприятии было проведено одновременно с реструктуризацией, без каких-либо социальных потрясений. В октябре 2003 года на базе прежнего КМК создали новое предприятие – ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат».

На ОАО «НКМК» рельсовая сталь, как основной металлопродукт, выплавляется в электропечах с разливкой около 90 % объема производства на МНЛЗ. Введена в эксплуатацию установка ковш-печь производительностью около 1,0 млн. т стали в год. Сегодня новый комбинат – один из крупнейших в России, а по объемам выпуска рельсовой продукции входит в пятерку мировых лидеров. В кратчайшие сроки на комбинате было освоено производство в электропечах и непрерывная разливка высокоскоростных и низкотемпературных рельсов, а также рельсов повышенной износостойкости и повышенной контактной выносливости. Можно сказать, что это сертифицированная продукция 21 века. Одним словом, ОАО «НКМК» успешно осваивает современные конкурентоспособные виды продукции, которые сегодня пользуются широким спросом как у российских железнодорожников, так и за рубежом.

Первый этап реконструкции комбината, рассчитанный до 2005 года, предусматривает техническое перевооружение электросталеплавильного и рельсобалочного производств как наиболее перспективных. Главная задача – достройка головной части рельсобалочного цеха и замыкание технологического цикла, чтобы сталь, разливаемая на МНЛЗ, сразу шла в производство рельсов. Объемы производства в ЭСПЦ № 2 к 2005 году будут увеличены до 1,5 млн. т в год. Планируется постепенный вывод из эксплуатации мартеновских печей.

Сокращение производства убыточных видов продукции на предприятиях неизбежно влечет за собой высвобождение части технологического персонала. Для устранения социальной напряженности на комбинате разработана программа занятости и ротации персонала внутри существующего комплекса комбината, основные положения которой заключа-

ются в следующем. Трудящиеся, достигшие пенсионного возраста, при увольнении с комбината одновременно получают несколько месячных окладов. При переходе на более низкооплачиваемую работу каждому трудящемуся также предоставляется денежная компенсация. При этом предусматривается переподготовка персонала за счет средств предприятия.

В настоящее время в дочерних предприятиях ООО «Сталь-НК» общая численность трудящихся – 2688 человек и в ОАО «НКМК» – 13200 человек.

ОАО «Кузнецкие ферросплавы» под управлением Урало-сибирской горно-металлургической компании является крупнейшим в России предприятием по выпуску микрокремнезема и ферросилиция, выпуская более 80 % от общего объема производства в России. За последние два года закончена реконструкция двух ферросплавных печей и ведется строительство еще двух новых печей. На данный момент на предприятии функционирует 14 печей. Планируется строительство системы эффективно работающей газоочистки. Предприятие отказывается от использования устаревших конструкций закрытых печей и шламонакопителей. За счет совершенствования корпоративных связей, модернизации и переоборудования Антоновского рудоуправления удалось значительно увеличить поставки основного шихтового материала – кварцита практически вдвое, что создает определенные перспективы повышения производства.

Ведутся работы по строительству второй очереди ОАО «Кузнецкие ферросплавы» в г. Юрга, на территории бывшего абразивного завода.

Открытие нового предприятия принесет безусловные результаты – новые рабочие места, экономическую стабильность, дополнительные налоговые отчисления в городской и областной бюджеты. На всех сотрудников нового предприятия в г. Юрга, после ввода в эксплуатацию, будет распространяться Коллективный договор ОАО «Кузнецкие ферросплавы». Численность персонала металлургического профиля – 1912 человек.

Стабильно работает старейшее предприятие области – Гурьевский металлургический завод. В соответствии с планом развития осуществлено строительство двух новых мартеновских печей, предусматривается строительство агрегата печь-ковш, машины непрерывного литья заготовок и электропечи. Боль-

Большой объем реконструкции выполнен по прокатному производству. В результате технического перевооружения завода планируется увеличение мощности производства и возможен рост численности рабочих, составляющей в настоящее время приблизительно 2509 человек.

Абагурская обогатительная фабрика (ОАО «ЕвразРуда») является достаточно мощным горно-рудным предприятием. В конце 2003 года с минимальными затратами введен в эксплуатацию сушильный комплекс, который позволяет отгружать концентрат в течение всего календарного года. В 2004 году модернизирован комплекс обогащения и введена двухстадийная схема обработки сырья, что позволяет увеличить содержание железа в концентрате до 61%. В настоящее время планируется установка новой агломашины, ввод второго сушильного комплекса, строительство корпуса шаровых мельниц, а также газификация фабрики. Разработанная программа развития и модернизации основных фондов выведет фабрику на новый технический уровень производства. На данном предприятии численность персонала 1945 человек.

Цветная металлургия в нашем регионе представлена, прежде всего, Новокузнецким алюминиевым заводом (управляющая компания «РУСАЛ»). Первенец сибирской отечественной алюминиевой промышленности (пущен в эксплуатацию в 1943 г.) является старейшим заводом не только по «возрасту», но и по оснащению основным технологическим оборудованием. На заводе работают самые старые по конструкции электролизеры, аналогов которым нет ни на одном аналогичном сибирском предприятии. Несмотря на то, что в настоящее время технический уровень основного оборудования НКАЗа резко отстает от флагманов отрасли, технико-экономические показатели не уступают передовым предприятиям и даже по многим показателям опережают их. Сегодня этот завод является пятым по величине производителем алюминия в России. За последние полтора года прирост объема производства составил 7,5 %. В этом году впервые за всю историю завода годовое производство алюминия будет доведено до 300 тысяч тонн, при этом на предприятии активно ведется работа по техническому перевооружению производства. Сегодня значительная часть продукции завода идет на экспорт. ОАО «НКАЗ» последовательно проводит реструктуризацию своего

производства. Например, вспомогательные цехи и производства выведены из состава предприятия и переданы во вновь созданный Сервисный центр. Некоторые подразделения вошли в существующие в регионе другие предприятия. Таким образом, при оптимизации структуры, на заводе остались только основные производства – электролизные и литейные цехи, цехи анодной массы и цех газоочистных сооружений, т.е. основные производства технологической линии. По состоянию на сегодняшний день численность трудящихся сократилась до 2939 человек, из которых рабочие основных металлургических профессий составляют 1803 человека.

В целом необходимо отметить, что в основном металлургические предприятия области работают рентабельно, за исключением Беловского цинкового завода, численность работающих которого составляет всего порядка 300 человек. Завод находится в состоянии затянувшегося банкротства и постоянной смены арбитражных управляющих. Можно отметить, что на предприятии используется устаревшая технология, существуют серьезные проблемы с обеспечением сырьем, качеством продукции и ее реализацией.

Подводя итог, необходимо отметить, что объем производства металлургии Кузбасса за последние два года вырос на 12 %. Наши предприятия переходят на выпуск современных видов металлопродукции: выплавка электростали по сравнению с прошлым годом выросла в 1,3 раза, алюминиевых сплавов в 1,5 раза, производство листового проката в 1,2 раза, стальных труб в 1,5 раза, экспорт железнодорожных рельсов увеличился в 3 раза, совокупная прибыль в отрасли с начала этого года увеличилась в 3,5 раза и составила более 6 млрд. рублей.

Металлургический комплекс Кузбасса обеспечивает около 20 % всех налоговых поступлений областного бюджета. Металлургия является лидерами среди других отраслей области по уровню заработной платы. За 2003 год и первую половину 2004 года в целом по отрасли она увеличилась в 1,5 раза и на сегодняшний день составляет в среднем в черной металлургии 9122 руб., в цветной металлургии – 10783 руб. Так по уровню заработной платы ОАО «ЗСМК» занимает третье место среди предприятий черной металлургии России (после ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» и ОАО «Северсталь»).

Но существуют и проблемы. И, прежде всего это нестабильность мирового рынка металла. А металлургия – это одна из отраслей, которая жестко привязана к мировым ценам. По оценкам специалистов, уже в ближайшее время на мировом рынке снова ожидается снижение цен на металлопродукцию в среднем на 30-40 %.

К другой значимой проблеме можно отнести интенсивно развивающийся Китай, который является главным потребителем кузбасского металлопроката (до 70 % всего экспорта наших металлургических комбинатов). Сейчас Китай ускоренно наращивает свои металлургические мощности и в основном определяет промышленную политику Восточной Азии.

В этих условиях удержаться на современном рынке металлопродукции возможно только при обеспечении выпуска конкурентоспособной продукции, при проведении более быстрыми темпами реконструкции металлургических предприятий, расширении потребления внутреннего рынка и дальнейшем развитии собственной сырьевой базы. Можно считать состоявшимся фактом разработку и реализацию стратегических программ развития Кузбасских металлургических предприятий. Разработана стратегия развития и горнорудных предприятий компании «ЕвразРуда», реализация которой позволит значительно увеличить объемы добычи железной руды на рудниках Горной Шории.

УДК 669.15:541.123:546.776

Б.П. Бурылев, В.Е. Крицкий, Е.Б. Крицкая

Научно-исследовательский институт по монтажным работам, г. Краснодар

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСТВОРИМОСТИ И АКТИВНОСТИ УГЛЕРОДА И МЕТАЛЛОВ В РАСПЛАВАХ СИСТЕМ CR-C, V-C И TI-C ПРИ СВЕРХВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Установленная зависимость растворимости углерода в жидких Mn, Fe, Co, Ni, Cu, использована для получения отсутствующих результатов по растворимости углерода в металлах IV периода с высокой температурой плавления – Cr, V и Ti. Установлены значения энергий взаимообмена этих металлов с углеродом и выполнено моделирование активностей металлов и углерода при высоких температурах.

Хром, ванадий и титан достаточно широко распространены в слабо- и высоколегированных сталях, однако свойства сплавов с их участием изучены недостаточно, в том числе и термодинамические, которые определяют межчастичное взаимодействие в расплавах.

Цель работы – на основании модельных представлений определить параметры взаимодействия хрома, ванадия и титана с углеродом и рассчитать температурные и концентрационные зависимости активности компонентов расплавов при высоких температурах.

Система хром-углерод. Один из наиболее распространенных легирующих элементов хром при восстановлении из руд углеродом

образует сплавы с высоким содержанием растворенного углерода [1]. Экспериментально система хром-углерод изучена недостаточно в области высоких содержаний углерода. Отсутствуют сведения о термодинамической активности и растворимости углерода в жидком хrome. Объясняется это сложностью выполнения эксперимента при температурах выше температуры плавления хрома.

В данном разделе – на основании имеющихся данных для расплавов металлов четвертого периода Me-C (Me=Cu, Ni, Co, Fe, Mn) планируется получить разными методами данные о растворимости углерода в жидком хrome.

В исследовании [2] получена количественная зависимость растворимости углерода в жидких металлах группы железа и марганца от порядкового номера металла в виде соотношения:

$$\lg x_C = - (550/T) + 0,385 + 0,145(Z - 26), \quad (1)$$

где x_C – растворимость углерода в мольных долях, Z – порядковый номер металла четвертого периода, T – абсолютная температура, К.

Из этого соотношения для растворимости углерода в жидком хrome получим

$$\lg x_C = - (550/T) - 0,095 \quad (2)$$

Расчеты для четырех температур приводят к следующим значениям:

T, К	1873	1973	2073	2173
x_C	0,4086	0,4182	0,4362	0,4486
% C, мас.	13,75	14,23	15,15	15,76

Эти результаты (в том числе и для переохлажденного металла), нанесенные на диаграмму плавкости системы С – Cr [3], обозначенные пунктирной линией, согласуются со справочными, но несколько завышенные (рисунки 1).

Общее уравнение для растворимости углерода в жидких металлах четвертого периода Периодической системы элементов Д.И. Менделеева приведено в работе [4].

$$\lg x_C = - (5050/T) + 0,315 - Q_{Me-C} (1 - x_C)^2 / (19,14T) \quad (3)$$

где x_C – растворимость углерода в металле Me в мольных долях; T – абсолютная температура в К; Q_{Me-C} – энергия взаимнообмена в системе Me-C, Дж/моль. По данным [5] $Q_{Cr-C} = -175700$ Дж/моль, поэтому для растворимости углерода в жидком хrome на основании выражения (3) имеем

$$\lg x_C = - (5050/T) + 0,315 - 9180 \cdot (1 - x_C)^2 / T \quad (4)$$

Результаты расчетов для трех температур приведены ниже:

T, К	1873	1973	2073
x_C	0,369	0,375	0,380
%C, масс	11,89	12,16	12,39

Эти данные также приведены на рисунке 1.

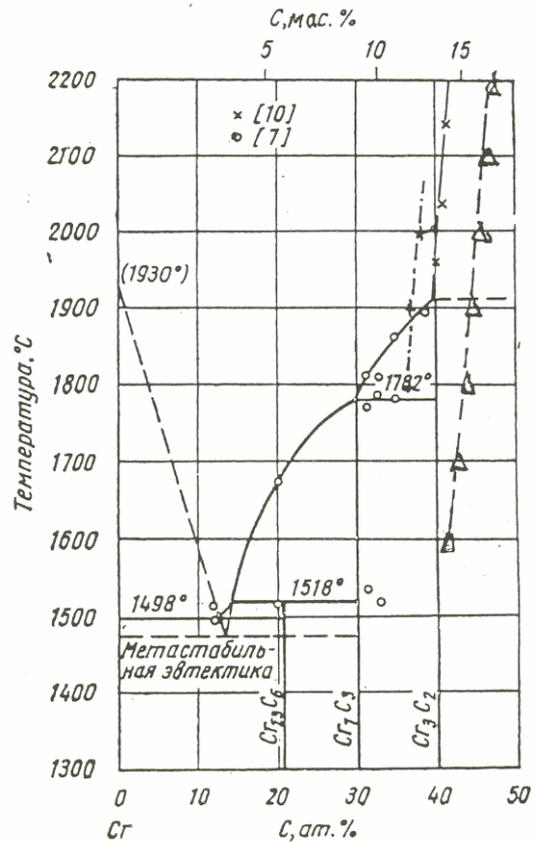


Рисунок 1 – Диаграмма плавкости системы С – Cr по данным [3]

- Δ - Δ - Δ – результат расчета растворимости углерода в жидком хrome по уравнению (2);
---x-----x- – расчет по уравнению (4).

Авторы работы [6] изучили растворимость углерода в системе Fe-Cr-C при температурах 1873, 1973 и 2073 К и достаточно высоких концентраций хрома (рисунок 2), что позволило описать опытные данные уравнением

$$\%C, \text{ мас} = 12,62923 - 13133,9/T + 0,063996 [\%Cr, \text{ мас.}] \quad (5)$$

Экстраполяция к чистому хrome приводит к следующим значениям растворимости:

T, К	1873	1973	2073
%C, мас	12,017	12,372	12,694
x_C	0,372	0,377	0,387

Различие с расчетными данными из уравнения (4) невелико и составляет 1-2 % относительных.

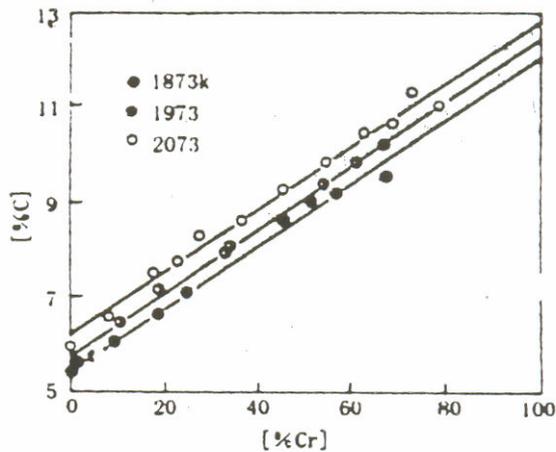


Рисунок 2 – Растворимость углерода в системе Fe-Cr-C. Опытные данные работы [6]

Приведенный в работе [6] вариант диаграммы плавкости системы C-Cr (рисунок 3) позволяет оценить результаты приведенных расчетов.

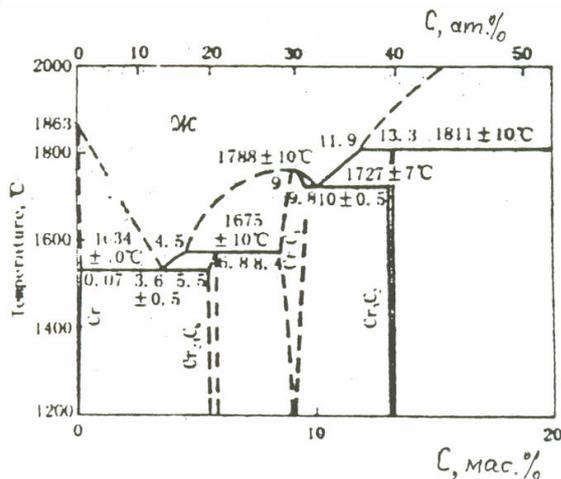


Рисунок 3 – Диаграмма плавкости системы C-Cr по данным [6]

Значительно большее различие в результатах расчетов растворимости углерода в жидком хrome по уравнениям (2) и (4), которое достигает 10-20 % относительных. Для столь высоких температур это различие лежит в пределах погрешностей экспериментальных измерений. Более обоснованной может считаться формула (4), поэтому для ее упрощения воспользуемся приведенными выше значениями растворимости углерода в жидком хrome, откуда получим

$$\lg x_C = -(252/T) - 0,298 \quad (6)$$

Это соотношение дает возможность экстраполяции результатов в области повышенных температур и облегчает расчет растворимости углерода в жидком хrome.

На основании полученных результатов представляется возможность определить активности компонентов в расплавах системы хром-углерод.

Для активности хрома имеем

$$\lg a_{Cr} = -9180 \cdot (1-x_{Cr})^2 / T + \lg x_{Cr} \quad (7)$$

а для 2100 К получим

$$\lg a_{Cr} = -4,371(1-x_{Cr})^2 + \lg x_{Cr} \quad (8)$$

Значение растворимости углерода при 2100 К по уравнениям (5) и (6) составляет $x_{C, \text{нас.}} = 0,388$ и $0,382$, а средняя величина $x_{C, \text{нас.}} = 0,385$. Результаты расчета активности жидкого хрома по уравнению (8) приведены ниже

x_{Cr}	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,615
a_{Cr}	0,926	0,814	0,678	0,535	0,400	0,283	0,198	0,138

Для активности углерода в случае выбора графита как стандартного состояния на основании [7] имеем

$$RT \ln a_C = RT \ln x_C + (1-x_C)2Q_{Cr-C} - C + K, \quad (9)$$

в котором при $x_C = x_{C, \text{нас.}}$; $a_C = 1$, а значение K определяется выражением

$$K = -RT \ln x_{C, \text{нас.}} - (1-x_{C, \text{нас.}})^2 Q_{Cr-C}, \quad (10)$$

или для 2100 К имеем

$$\lg a_C = -4,371(1-x_C)^2 + \lg x_C + 2,068. \quad (11)$$

Результаты расчетов активности углерода в жидком хrome приведены ниже

x_C	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,385
a_C	$6,64 \cdot 10^{-4}$	$3,37 \cdot 10^{-3}$	$1,22 \cdot 10^{-2}$	$3,73 \cdot 10^{-2}$	0,102	0,253	0,583	1,000

В системе хром-углерод в жидком состоянии наблюдаются значительные отрицательные отклонения от закона Рауля.

Система ванадий-углерод. Термодинамические свойства расплавов системы ванадий-углерод не изучены из-за высокой температуры плавления сплавов. Анализ диаграммы плавкости системы C-V [8] показывает отсутствие данных о растворимости углерода, известна только температура кристаллизации расплавов ванадий-углерод, которая составляет 2923 ± 50 К.

В работах [2,4] отмечена зависимость растворимости углерода в жидких металлах четвертого периода от их порядкового номера в Периодической системе Д.И. Менделеева. В данной работе эта зависимость использована для установления растворимости углерода в соответствии с данными [4,9] в расплавленных металлах по уравнению (3).

Для системы V-C по данным для системы Fe-V-C [4] $Q_{V-C} = -230000$ Дж/моль, поэтому из соотношения (3) получим

$$\lg x_C = - (5050/T) + 0,315 + 12020 (1 - x_C)^2 / T, \quad (12)$$

а для 3000 К расчетное уравнение растворимости углерода в жидком ванадии преобразуется к виду

$$\lg x_C = -1,6833 + 4,007(1 - x_C)^2, \quad (13)$$

откуда $x_C = 0,4865$.

Для 3200 К из уравнения (12) $x_C = 0,495$, более простое соотношение между растворимостью углерода и температурой выражено формулой:

$$\lg x_C = -(352/T) - 0,1954, \quad (14)$$

результаты расчетов для разных температур приведены ниже

T, К	2923	3000	3100	3200
x_C	0,4832	0,4867	0,4910	0,4950

Эти данные являются дополнением диаграммы плавкости системы V-C [8] в правом верхнем ее углу.

Для активности ванадия в расплавах ванадий-углерод по [9] имеем

$$\lg \alpha_V = -12020 \cdot (1 - x_V)^2 / T + \lg x_V, \quad (15)$$

а для 3000 К по формуле

$$\lg \alpha_V = -4,007(1 - x_V)^2 + \lg x_V, \quad (16)$$

получим

x_V	0,90	0,80	0,70	0,60	0,513	0,50
α_V	0,820	0,553	0,305	0,137	0,058	0,050

Для активности углерода при выборе в качестве стандартного состояния графита расчетное уравнение для 3000 К имеем вид

$$\lg \alpha_C^* = -4,007(1 - x_C)^2 + \lg x_C + 1,368, \quad (17)$$

результаты расчетов приведены ниже

x_C	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4867
α_C^*	0,0013	0,032	0,076	0,338	1,000

В изученной системе наблюдаются большие отрицательные отклонения от закона Рауля.

Система титан-углерод. Система титан-углерод для области жидкого состояния имеет практическое значение, но из-за высоких температур плавления экспериментальные данные для термодинамических свойств не получены. В спра-

вочнике [10] приведены значения растворимости углерода в жидком титане, которые имеют следующие значения для разных температур:

$t^{\circ}C$	3050	3200	3400	3600	3800
x_C , мол. доли	0,58	0,60	0,62	0,635	0,65

Эти данные для широкого диапазона температур описываются выражением:

$$\lg x_C = -922 / T + 0,0409, \quad (18)$$

где x_C – растворимость углерода; T – абсолютная температура. Это уравнение справедливо для диапазона от температуры плавления до температуры кипения.

В работах [4,9] получена зависимость растворимости углерода в жидких металлах четвертого периода, представленная выражением (3).

С учетом значений растворимости углерода по уравнению (18) рассчитанные значения энергий взаимодействия титана с углеродом оказались значительно выше по абсолютной величине, чем полученные в работах [9, 11] методом экстраполяции энергий взаимодействия Q_{Me-C} от порядкового номера. Для широкого диапазона температур энергии взаимодействия титана с углеродом описываются следующей температурной зависимостью:

$$Q = 185000 - 160,7 \cdot T, \quad \text{Дж/моль} \quad (19)$$

Отсюда для 3500 К $Q = -377450$ Дж/моль.

Для активности титана по данным [2] получим:

$$\lg \alpha_{Ti} = -19720 (1 - x_{Ti})^2 / T + \lg x_{Ti}, \quad (20)$$

а для 3500 К имеем:

$$\lg \alpha_{Ti} = -5,634 \cdot (1 - x_{Ti})^2 + \lg x_{Ti}, \quad (21)$$

Для этой же температуры из уравнения (18) растворимость углерода $x_{C \text{ нас.}} = 0,5991$. Значения активности титана по выражению (21) приведены ниже:

x_{Ti}	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4009
α_{Ti}	0,790	0,476	0,218	0,075	0,020	0,004

В выражении (21) в качестве стандартного состояния активности выбран чистый жидкий титан.

Для активности углерода при выборе в качестве стандартного состояния графита получим:

$$RT \ln \alpha_C = RT \ln x_C + Q_{Ti-C} (1 - x_C)^2 + K, \quad (22)$$

где константа K зависит от выбора стандартного состояния и для графита $\alpha_C^* = 1$ при $f_C = 1 / x_{C \text{ нас.}}$ тогда

$$K = -RT \ln x_{\text{Снас}} + Q_{\text{Ti-C}} (1 - x_{\text{Снас}})^2. \quad (23)$$

В приведенных уравнениях α_{C} – активность углерода, f_{C} – его коэффициент активности и x_{C} – мольная доля углерода. Для 3500 К получим:

$$\lg \alpha_{\text{C}} = -5,634 (1 - x_{\text{C}})^2 + \lg x_{\text{C}} + 1,128, \quad (24)$$

откуда для активности углерода получим:

x_{C}	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5991
α_{C}	0,0000311	0,000666	0,007	0,050	0,262	1,000

В расплавах системы титан-углерод наблюдаются весьма большие отрицательные отклонения от закона Рауля.

Приведенные выражения позволяют определить термодинамические величины для других температур в области жидкого состояния, характерных для процессов электродуговой сварки и электрометаллургии.

Определенные параметры взаимодействия для трех систем с использованием модельных выражений позволяют получить результаты для активности компонентов и растворимости углерода в трех тройных системах Cr-V-C, Cr-Ti-C, V-Ti-C и четверной системы Cr-V-Ti-C, и добавление основного компонента сталей и сплавов – железа – значительно расширит число тройных, четверных и пятикомпонентной системы Fe-Cr-V-Ti-C.

При этом следует учесть, что $Q_{\text{Fe-C}} = -97900$ Дж/моль [4, 9], $Q_{\text{Fe-Cr}} = 0$ [5],

$Q_{\text{Fe-V}} = -11\,000$ Дж/моль [12], $Q_{\text{Fe-Ti}} = -54000$ Дж/моль [13], а для $Q_{\text{Cr-V}}$, $Q_{\text{Cr-Ti}}$, $Q_{\text{V-Ti}}$ в первом приближении можно принять нулевое значение энергии взаимодействия. Расчетные уравнения для многокомпонентных систем приведены в работах [5, 7, 9].

ВЫВОДЫ

Использованы два метода установления растворимости углерода в жидком хrome из ранее установленной зависимости растворимости углерода в жидких металлах IV периода от порядкового номера металлов путем экстраполяции к хрому и на основании сведений о межчастичном взаимодействии в системе Fe-Cr-C, полученные результаты согласуются с экстраполированными опытными данными для системы Fe-Cr-C к чистому хрому.

На основании зависимости растворимости углерода в жидких металлах от их порядкового номера и значения энергии взаимодействия ванадия с углеродом, получена температурная

зависимость растворимости углерода в жидком ванадии. Из справочных данных о растворимости углерода в жидком титане получена температурная зависимость растворимости в широком диапазоне температур от плавления до кипения.

С помощью полученных значений энергий взаимодействия металлов с углеродом по примененной модели рассчитаны концентрационные зависимости активностей жидких Cr, V, Ti и C при 3500 К. Полученные зависимости позволяют вычислять данные для любых температур. Показана возможность расчетов для многокомпонентных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гельд П.В. Процессы высокотемпературного восстановления / П.В. Гельд, О.А. Есин. – Свердловск: Metallurgizdat, 1957. – 646 с.
2. Бурылев Б.П. Зависимость растворимости углерода в жидких марганце, железе кобальте и никеле от их порядкового номера и температуры / Б.П. Бурылев // Журн. физич. химии. – 1962. – Т. 36. № 10. – С. 2230-2232.
3. Хансен М. Структуры двойных сплавов / М. Хансен, К. Андерко. Т. 1. – Metallurgizdat, 1962. – 612 с.
4. Бурылев Б.П. Растворимости углерода в расплавленных металлах четвертого периода. / Б.П. Бурылев // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1961. – № 6. – С. 5-10.
5. Бурылев Б.П. Термодинамика растворов хрома в жидком железе. / Б.П. Бурылев // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1962. – № 6. – С. 5-10.
6. Zhang Jian. Carbon Solubility and Mass Action Concentrations of Fe – Cr – C Melts // 8-th Int. Ferroalloys Cong. Proc, Beijing. June 7-10. 1998. (Beijing). 1998. P. 195-200.
7. Бурылев Б.П. Активность элементов в жидких Fe – Mn – C сплавах / Б.П. Бурылев // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1962. – № 4. – С. 14-18.
8. Шанк Ф. Структуры двойных сплавов. Второе дополнение / Ф. Шанк. Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1978. – 760 с.
9. Бурылев Б.П. Термодинамика металлических растворов внедрения / Б.П. Бурылев. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 1984. – 160 с.
10. Эллиот Р.И. Структуры двойных сплавов / Эллиот Р.И. Первое дополнение. Т.1. Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1970. – 455 с.

11. Бурылев Б.П. Моделирование растворимости углерода в тройных и многокомпонентных расплавах железа / Б.П. Бурылев, Л.П. Мойсов, Л.Ш. Цемехман // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2003. – № 1. – С. 3-8.

12. Бурылев Б.П. Термодинамика процесса десульфурации жидкой и твердой стали ванадием / Б.П. Бурылев, П.П. Мишин, М.А. Цейт-

Цейтлин // Физико-химические исследования металлургических процессов. Вып.12. Межвуз. сб. – Свердловск: Изд. УПИ, 1984. – С. 57-62.

13. Бурылев Б.П. Влияние титана на растворимость и активность серы в жидком железе / Б.П. Бурылев // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1981. – № 8. – С. 4 - 7.

УДК 669.112.3:511.123

В.Е. Крицкий, Б.П. Бурылев, Е.Б. Крицкая

Научно-исследовательский институт по монтажным работам, г. Краснодар

РАСЧЕТ АКТИВНОСТИ И РАСТВОРИМОСТИ КИСЛОРОДА В ЖИДКИХ ХРОМЕ, ВАНАДИИ И ТИТАНЕ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

С целью установления общих закономерностей изменений растворимости и активности кислорода в жидких металлах четвертого периода выполнено математическое моделирование этих величин в Fe, Co, Ni, Cu, Mn. На основе полученных зависимостей проведено прогнозирование растворимости и активности кислорода в расплавленных Cr, V и Ti.

Растворимость кислорода в жидких металлах группы железа (Fe, Co, Ni) и меди исследована многими авторами. Для обобщения результатов измерений надо иметь расчетные уравнения, которые являются универсальными для рассматриваемой группы металлов и позволяют рассчитывать растворимость кислорода в жидких металлах при разных температурах.

Цель данной работы – расчет растворимости и активности кислорода в жидких Fe, Co, Ni и Cu и на основании установленной зависимости энергий взаимодействия металлов с кислородом от порядкового номера металлов прогнозированы свойства систем Cr-O, V-O и Ti-O.

В работе [1] для бинарного раствора железо-кислород предложено уравнение:

$$-\Delta H_{\text{O}} + T\Delta S_{\text{O}} = RT \ln x_{\text{O}} + Q_{\text{Me-O}} (1 - x_{\text{O}})^2, \quad (1)$$

где x_{O} – растворимость кислорода в жидком металле, мол. доля; T – абсолютная температура, К; R – универсальная газовая постоянная; ΔH_{O} и ΔS_{O} – изменение энтальпии и энтропии растворения гипотетического жид-

кого кислорода в металле; $Q_{\text{Me-O}}$ – энергия взаимодействия металла и кислорода.

Для системы Fe - O найдено $Q_{\text{Fe-O}} = 105000$ Дж/моль, а из данных работы [2] получено:

T, K	1823	1873	1923	1973
[O], мас. %	0,19	0,23	0,28	0,34
$-\Delta H_{\text{O}} + T\Delta S_{\text{O}}$, Дж/моль	7400	28100	28700	29700

Зависимость величины $-\Delta H_{\text{O}} + T\Delta S_{\text{O}}$ от абсолютной температуры позволяет рассчитать изменение энтальпии и энтропии при растворении гипотетического жидкого кислорода в жидком железе, которые составляют:

$\Delta H_{\text{O}} = -3770$ Дж/моль и $\Delta S_{\text{O}} = 13,0$ Дж/(моль · К).

Если в качестве стандартного состояния выбрать чистый жидкий компонент, то изменение энтальпии и энтропии перехода компонента в раствор практически не зависят от природы растворителя. Это подтверждено в работе [3] на примере раствора углерода в разных металлах. В нашем случае задача уже, рассматриваются растворы кислорода в жидких металлах четвертого периода, поэтому

для каждого из этих металлов в пределах периода можно принять полученные выше значения ΔH_O и ΔS_O постоянными.

Расчетом из величины Q_{Fe-O} для 1873 К получено $\varepsilon^o = -13,5$ и $e^o = -0,20$ [1]. Для широкого диапазона температур в системе Fe – O получены расчетные выражения в работе [4].

Применяя к системе Ni – O уравнение:

$$-3770 + 13,0 \cdot T = RT \ln x_O + Q_{Ni-O} (1 - x_O)^2 \quad (2)$$

и используя опытные данные работы [5], получим:

T, К	1823	1873	1923	1973
[O], мас.%	0,640	0,825	1,075	1,333
Q_{Ni-O} , Дж/моль	88200	87300	87000	86700

Величина Q убывает с ростом температуры, причем эти изменения не могут быть объяснены только погрешностями эксперимента. Из приведенных данных следует, что растворы кислорода в жидком никеле не являются регулярными, т.к. избыточная энтропия смешения отличается от идеальной. Приведенные результаты дают возможность получить величины $\Delta G^{изб}$, затем

$\Delta S^{изб} = -d \Delta G^{изб} / dT$ и $\Delta H^{см} = \Delta G^{изб} + T \Delta S^{изб}$, однако, это выходит за пределы целевого назначения данной работы.

Принимая для 1873К значение $Q_{Ni-O} = 87300$ Дж/моль, получаем

$\varepsilon^o = d \ln f_O / dx_O = -2 Q / RT = -11,2$ или $e^o = -0,18$, т.е. $\lg f_O = e^o [\%O] = -0,18 [\%O]$.

Для 1873 К в насыщенном кислороде никеле $f_O = 0,71$.

Система Co-O. Из опытных данных [5] и уравнения:

$$3770 + 13,0 \cdot T = RT \ln x_O + Q_{Co-O} (1 - x_O)^2 \quad (3)$$

получаем:

T, К	1823	1873	1923	1973
[O], мас.%	0,162	0,224	0,304	0,405
Q_{Co-O} , Дж/моль	106400	104500	103000	96000

И для этой системы наблюдаются значительные понижения энергии взаимодействия Q_{Co-O} с увеличением температуры. Принимая для 1873 К $Q_{Co-O} = 104500$ Дж/моль, находим $\varepsilon^o = -13,4$ или $e^o = -0,21$, откуда получаем $\lg f_O = e^o [\%O] = -0,21 [\%O]$, а для сплава, насыщенного кислородом, имеем: $f_O = 0,90$.

Полученные уравнения могут быть использованы для определения активности в многокомпонентных системах. В работе [6] рассчитанные значения растворимости кислорода в системах Fe-Ni и Ni-Co согласуются с экспериментальными, а в работе [7] - с содержанием кислорода в ферроникеле.

Для системы Cu – O:

$$3770 + 13,0 \cdot T = RT \ln x_O + Q_{Cu-O} (1 - x_O)^2 \quad (4)$$

и из опытных данных о растворимости кислорода в жидкой меди [8] получим:

T, К	1513	1523	1533	1543	1553	1563	1573	1583
x_O	0,112	0,114	0,121	0,128	0,137	0,146	0,154	0,164
Q_{Cu-O} , Дж/моль	64630	65040	65500	66010	66620	67310	68020	70050

Из этих результатов следует температурная зависимость энергии взаимодействия, которая может быть описана выражением:

$$Q_{Cu-O} = -31080 + 63 \cdot T, \text{ Дж/моль.}$$

Это обстоятельство указывает, что обычный вариант теории регулярных растворов ($Q_{Cu-O} = \text{const}$) в данном случае неприменим.

Полученные зависимости позволяют рассчитывать термодинамические величины образования расплавов системы Cu – O, откуда $\Delta G^{изб} > 0$, $\Delta H^{см} < 0$, $\Delta S^{изб} < 0$.

Уравнение растворимости кислорода в жидкой меди имеет вид:

$$\lg x_O = (1624/T - 3,292)(1 - x_O)^2 + 197/T + 0,679 \quad (5)$$

откуда для 1250 и 1300 °C растворимость кислорода в жидкой меди составит 3,14 и 4,38 мас. %.

Для 1573 К и $Q_{Cu-O} = 68000$ Дж/моль в системе Cu – O получим $\varepsilon^o = d \ln f_O / dx_O = -2 Q / RT = -10,4$ или $e^o = -0,18$, т.е. $\lg f_O = e^o [\%O] = -0,180 [\%O]$.

Полученные результаты согласуются с данными экспериментальных исследований, приведенных в обзоре [9].

Проверку полученных соотношений выполним для Mn – O.

Энергия взаимодействия в системе Mn – O, найденная экстраполяцией порядкового номера металла ($n = 25$), равна $Q_{Mn-O} = 125000$ Дж/моль [1]. Эту величину можно проверить по данным о растворимости кислорода в жидком марганце [10].

T, K	1873	1773	1673	1515
x _O	0,0013	0,00096	0,00065	0,000326

По уравнению (1) получим:

$$-3770 + 13,0 T = RT \ln x_O + Q_{Mn-O} (1 - x_O)^2, \quad (6)$$

откуда для приведенных выше T и x_O получим значения Q_{Mn-O}, соответственно равные 131920, 129480, 127740, 124660 Дж/моль.

Прогнозируемая величина совпадает с определенной из эвтектического состава и температуры. Из-за малых значений растворимости кислорода в жидком марганце, уравнение (1) преобразуется в соотношение:

$$\lg x_O = -4718/T - 0,367 \quad (7)$$

Для активности растворенного кислорода при 1673 K и Q_{Mn-O} = 128500 Дж/моль, получим ε° = -18,5 или e° = -0,28, т.е. lgf_O = e° [%O] = -0,28 [%O].

Экспериментальные исследования [11-18] подтверждают эти данные.

Таким образом, приведенный метод описания растворимости и активности кислорода в жидких металлах четвертого периода является продуктивным и может быть применен для расчетов термодинамических свойств систем Me-O в широком диапазоне температур и концентраций в том числе металлов, имеющих высокую температуру плавления (хром, ванадий, титан).

Для этих металлов аналогичная операция выполнена в работе [15].

Экстраполяция величины Q_{Me-O} от порядкового номера металла (n=24) приводит к значению Q_{Cr-O} = 145000-150000 Дж/моль для разных температур получим:

T, K	2170	2200	2250	2300	2350	2400
-RTlnx _O	118020	117630	116960	116330	115680	115030
x _O	0,00144	0,00161	0,00182	0,00228	0,00268	0,00313

Откуда для температурной зависимости растворимости кислорода в жидком хrome имеем:

$$\lg x_O = -(7653/T) + 0,685, \quad (9)$$

или в процентах по массе:

$$\lg [\%O] = -(7653/T) + 4,173 \quad (10)$$

Для активности кислорода в жидком хrome при 2200 K находим ε° = -16,4 или e°_O = -0,23, т.е.:

$$\lg f_O = -0,23 [\% O], \quad (11)$$

что близко данным работ [10,11].

Для системы ванадий-кислород при Q_{v.o} = 155000 Дж/моль и T=2200 K рассчитанные величины имеют следующие значения: ε° = -16,9 и e° = -0,23, т.е.

$$\lg f_O = -0,23 [\% O]. \quad (12)$$

Значения растворимости, рассчитанные по уравнению (1), следующие:

T, K	2200	2250	2300	2350	2400
x _O	0,00122	0,00147	0,00175	0,00207	0,00244

Откуда имеем температурную зависимость растворимости кислорода в жидком ванадии:

$$\lg x_O = -0,28 [\% O], \quad (13)$$

или в процентах по массе:

$$\lg f_O = -0,28 [\% O]. \quad (14)$$

Растворимость кислорода по уравнению (1) для разных температур в жидком титане будет следующей:

T, K	1900	1950	2000	2050	2100
x _O	0,000128	0,000168	0,000217	0,000277	0,000350

Температурная зависимость растворимости кислорода в жидком титане следующая:

$$\lg x_O = -(8694/T) + 0,684, \quad (15)$$

а в процентах по массе:

$$\lg [\% O] = -(8694/T) + 2,208. \quad (16)$$

На основании полученных данных открывается возможность расчетов растворимости и активности растворенного кислорода в бинарных и многокомпонентных системах [12].

Выводы. На основании полученной ранее [1] зависимости энергий взаимодействия металлов IV периода с кислородом от порядкового номера металла методом экстраполяции получены значения энергий взаимодействия для марганца, хрома, ванадия и титана с кислородом. Рассчитаны температурные зависимости растворимости кислорода в жидких металлах IV периода и значения коэффициентов активности кислорода в жидких металлах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурyleв Б.П. // Физико-химические исследования металлургических процессов. Межвузовский сборник. № 16. – Свердловск: Изд. Уральского политехн. ин-та, 1988. – С. 76-80.
2. Tankins E.S., Gokcen N.A., Belton G.R. // Trans. Metallurg. Soc. AIME. – 1964. – Vol. 230. – P. 820-827.

3. Бурылев Б.П. Термодинамика металлических растворов внедрения / Б.П. Бурылев. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1984. – 160 с.
4. Бурылев Б.П. Современные проблемы электрометаллургии стали / Б.П. Бурылев, Л.П. Мойсов // Тез. докл. IX междунар. конф. – Челябинск: Изд. Челяб. гос. тех. ун-та, 1995. – С. 25.
5. Белов Б.Ф., Новохатский И.А. Лобанов Ю.А. // Изв. АН СССР. Металлы. – 1967. – № 3. – С. 53-62.
6. Бурылев Б.П. // Изв. СО АН СССР. Сер. хим. наук. – 1964. – № 11. Вып.3. – С. 38-43.
7. Бурылев Б.П., Кормилицын С.П., Цемехман Л.Ш. и др. // Труды Гипроникеля. – 1978. – № 3 (67). – С. 8-13.
8. Schmid R. // Metallurg. Trans. – 1983. – Vol. 14 B. № 1-4. – P. 473-481.
9. Oishi T., Ono K. // Bull. Japan Inst. Metals. – 1986. – Vol. 25. №4. – P. 291-299.
10. Шанк Ф. Структуры двойных расплавов. Второе дополнение / Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1973. – 530 с.
11. Tromel G., Fix W., Koch K., Shaberg F. // Erzmetall. – 1976. – V. 29. № 5. – S. 234-237.
12. Иванчев И., Еринин Х., Симеонов С. // Металлургия. – 1979. – Т. 34. № 11. – С. 1-2.
13. Jacob K.T. // Metallurg. Trans. – 1981. – V.12. – P. 440-442.
14. Chen Oiyuan // Acta met. sin. – 1988. – V24. № 6. – P. 440-442.
15. Мойсов Л.П. Расчет температурной зависимости и активности кислорода в металлах IV периода, имеющих высокую температуру плавления / Л.П. Мойсов, Б.П. Бурылев. – М., 1999. 9. Деп. в ВИНТИ 21.06.99, № 1973- В 99.
16. Vanik G., Schmitt T., Etmayer P., Lux B. // Z. Metallkunde. – 1980. – Bd. 71. № 10. – S. 644-645.
17. Taylor J.R., Dinsdale A.T. // Z. Metallkunde. – 1990. – Bd. 81. №5. – S. 354-365.
18. Блатов И.А., Цемехман Л.Ш., Бурылев Б.П., Мойсов Л.П. // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1996. – № 11. – С. 1-4.

УДК 669.713.7(7)

Г.В. Галевский, П.А. Демыкин*, М.Я. Минцис

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

*ЗАО «ТоксСофт», г. Москва

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ СЕРИИ НА ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОЛИЗА, С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛИ, СОСТАВЛЕННОЙ В ПРОГРАММЕ «ELECTRONICS WORKBENCH».

Изучение на модели влияния заземления серии алюминиевых электролизеров на процесс электролиза.

Канадская компания «Interactive ImageTechnologies Ltd.» разработала программу «Electronics Workbench» [1, 2], которая широко используется за рубежом, в том числе и для построения программ с электрическими параметрами. Применение этой программы позволяет легко и быстро решать различные задачи. В настоящей работе приведены результаты оценки влияния токов утечки на процесс электролиза и его производительность.

В действующих сериях утечки на ваннах могут достигать различных величин: от не-

скольких сотен Ом, до короткого замыкания на «землю». Для облегчения усвоения возможностей программы в модели использованы следующие допущения:

- 160 ванн серии включены последовательно и объединены по 10 штук в 16 групп;
- электролизеры (ванны) группы идеализированы, т.е. обладают одинаковыми свойствами, напряжение на одном электролизере принято равным 4,0 В;
- преобразовательная подстанция (КПП) рассматривается как источник тока, а

при возникновении анодного эффекта – как источник напряжения;

- сила тока, генерируемая КПП, принята равной 100 кА, а напряжение серии – 640 В;
- сопротивление группы ванн принято равным 0,0004 Ом; при возникновении анодного эффекта (АЭ), сопротивление группы увеличивается до 0,00075 Ом, что соответствует напряжению АЭ на одной ванне равному 30 В;
- для измерения напряжения на группе ванн использован условный вольтметр с внутренним сопротивлением равным 1МОм;
- для измерения силы тока используется амперметр с внутренним сопротивлением равным 1 рОм.
- температура электролита пропорциональна выделенной на электролизере мощности и принята равной 955 °С;

Несмотря на эти упрощения, используемые в модели параметры, достаточно хорошо согласуются с параметрами действующих электролизеров. С помощью этой модели были проанализированы следующие ситуации на серии:

Ситуация 1. Идеальная серия – все электролизеры не имеют токов утечки на «землю»;

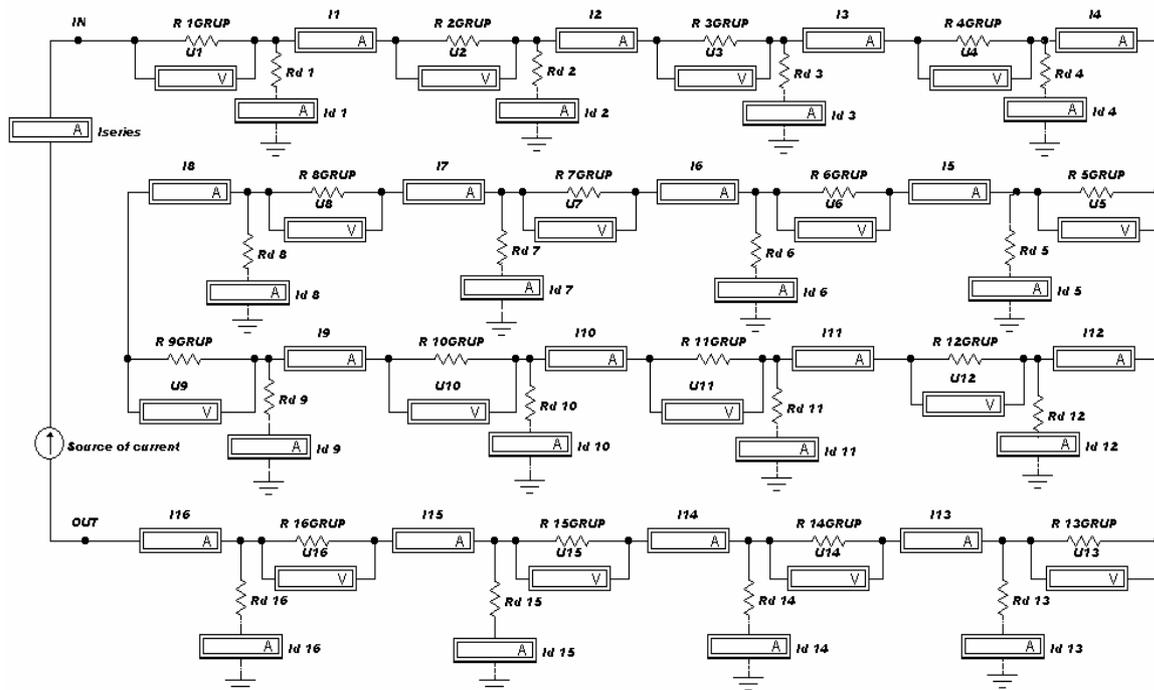


Рисунок 1 – Электрическая схема серии

R(№)GRUP – сопротивление группы ванн (цифра в скобках обозначает номер группы);

Ситуация 2. Серия с равномерными утечками на «землю» через сопротивление 10 Ом;

Ситуация 3. Серия с равномерными утечками, но в группе № 7 имеется утечка на «землю» через амперметр (сопротивление 1 рОм);

Ситуация 4. Серия с равномерными утечками, но в группах № 6 и № 10 имеются утечки на «землю» через сопротивление 0,03 Ом;

Ситуация 5. Серия с равномерными утечками, но в группе № 4 возник АЭ;

На рисунке 1 приведена условная схема серии, в которую, в соответствии с рассматриваемой ситуацией, будут вноситься предварительно оговоренные изменения.

Ситуация 6. Серия с равномерными утечками, но в группе № 1 имеется утечка на «землю» через амперметр (сопротивление 1 рОм). Для этой ситуации проведен анализ работы серии при автоматическом регулировании напряжения ванн.

На схеме (рисунок 1) использованы следующие обозначения.

I series – амперметр измерения силы тока серии;

Source of current – источник постоянного тока серийной подстанции;

In-Out – вход и выход серийной подстанции;

$U(\text{№})$ – вольтметр измерения напряжения на группе ванн;

$I(\text{№})$ – амперметр измерения тока протекающего в группе ванн;

$I_d(\text{№})$ – амперметр измерения тока утечки в группе ванн на землю.

Рассмотрим состояние серии при различных ситуациях с утечками тока на «землю».

Ситуация 1. Идеальная серия – все электролизеры не имеют токов утечки на «землю». $R\ 1GRUP-R\ 16GRUP$ – сопротивления групп одинаковы и равны – 0,0004 Ом; $Rd1-Rd16$ – сопротивления изоляции равны – ∞ .

В данной ситуации ток серии и токи, протекающие по электролизерам одинаковы и равны 100 кА, напряжения на группах одинаковы и равны 40,0 В. Токов утечки – нет. Это идеальный вариант работы серии, все электролизеры получают одинаковый ток, потеря в производительности ванн – нет.

Ситуация 2. Все электролизеры имеют равномерные токи утечки на «землю» через сопротивление 10 Ом; $R\ 1GRUP-R\ 16GRUP$ – сопротивления групп одинаковы и равны – 0,0004 Ом; $Rd1-Rd16$ – сопротивления изоляции равны – 10 Ом.

Значение сопротивления изоляции электролизера от «земли» выбрано равным 10 Ом, что вполне типично для алюминиевых заводов, поскольку при конструировании и строительстве ванн недостаточно внимания уделя-

ется конструкции и материалам узлов изоляции, а также их долговечности во время их эксплуатации. На рисунке 2 приведены токи по ваннам и токи утечки.

Ситуация 3. Все электролизеры идеальны, но в группе № 7 имеется утечка на «землю» через амперметр; $R\ 1GRUP-R\ 16GRUP$ – сопротивления групп одинаковы и равны – 0,0004 Ом; $Rd7$ – сопротивление изоляции 7 группы ванн равно – 0 Ом, в остальных группах сопротивления изоляции равны – 10 Ом.

Ситуация 3 реально возможна при снижении изоляции катода ванны или ошиновки ванн, а также при заливке воды во время капитального ремонта ванны.

На рисунке 3 для сравнения приведены значения токов в группах при равномерных утечках и при коротком замыкании на «землю» в группе № 7. Из этого графика видно, что во втором случае резко увеличиваются токи утечки и снижается ток, протекающий по ваннам, подключенным за группой № 7. В результате производительность этих ванн снижается на 0,18 %, так как ванны не получают 180 А. Но за счет «возвращения» токов утечки в серию, ток постепенно возрастает и в конце серии составляет 100 кА.

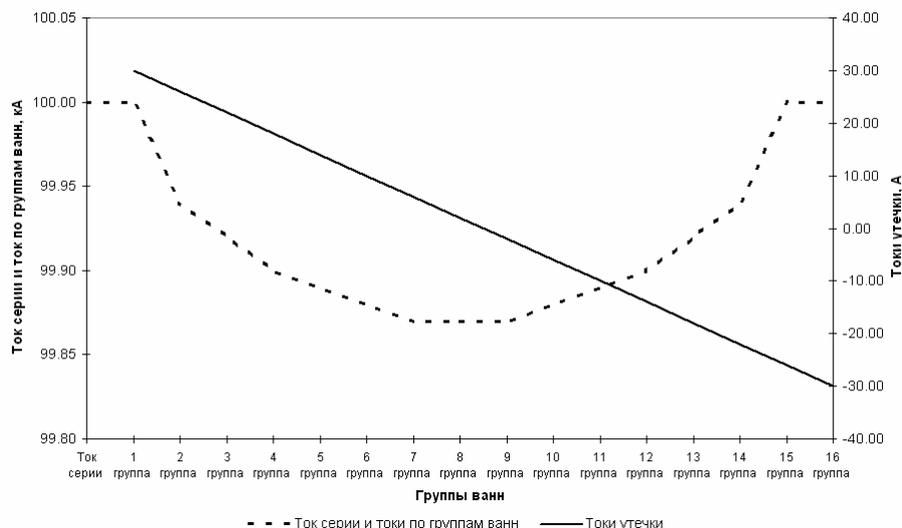


Рисунок 2 – Токи, текущие через группу ванн и токи утечки при равномерных утечках

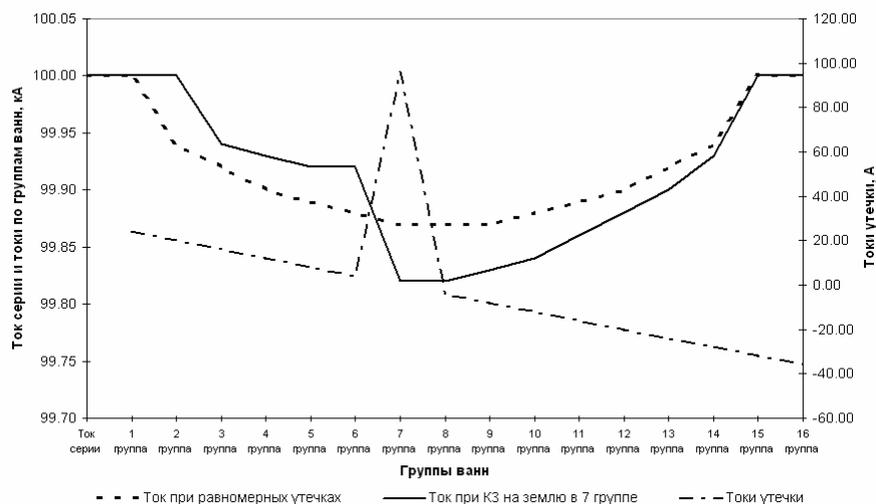


Рисунок 3 – Изменения токов по группам ванн и токов утечки при равномерных утечках и коротком замыкании электролизера из группы № 7 на «землю».

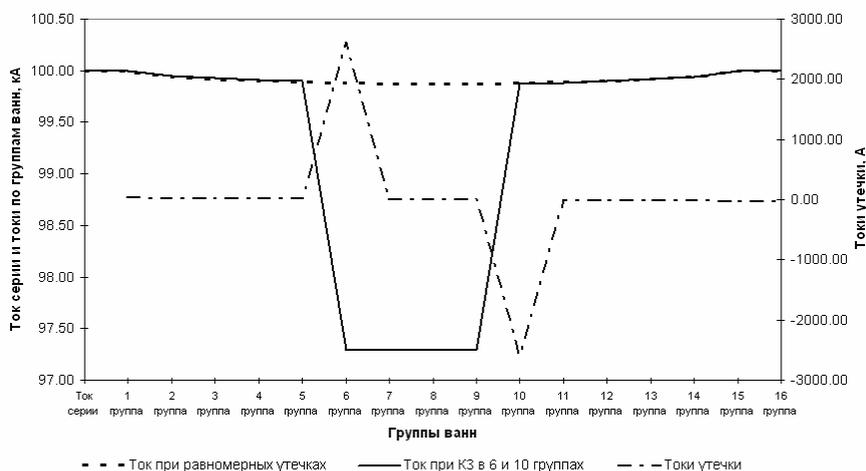


Рисунок 4 – Изменения токов утечки и токов в группах ванн. при равномерных утечках и дополнительных утечках в группах № 6 и № 10 через сопротивление 0,03 Ом

Ситуация 4. Все электролизеры идеальны, но в группах № 6 и № 10 имеются утечки на «землю» через сопротивление 0,03 Ом, что в 300 раз меньше, чем на нормальных электролизерах. R 1GRUP–R 16GRUP – сопротивления групп одинаковы и равны – 0,0004 Ом; Rd6 – Rd10 – сопротивления изоляции равны – 0,03 Ом, в остальных группах сопротивления изоляции равны – 10 Ом.

Рассматриваемая ситуация (рисунок 4), вероятно одна из самых неблагоприятных. Ток утечки в группе № 6 «находит» более прямой путь в обход электролизеров до группы № 10, при этом ванны в группах № 7, 8, 9 недополучают 2,6 кА.

Это приводит к потере производительности ванн около 3 %, которая сопровождается и ухудшением технологического хода («холод-

ный» ход), за счет недополученного тепла. При этом сохраняются и потери от равномерных утечек в остальных группах ванн.

Не исключено, что протекание такого большого тока утечки по подземным, металлоконструкциям может привести к их разрушению. Часто подобную картину можно наблюдать на одноэтажных сериях. Токи утечки вызывают искрение между металлическими плитами перекрытия шинных каналов в местах их касания с арматурой железобетонных конструкций, нагреву и плавлению асфальтового покрытия полов и т. д.

Существующими способами и приборами обнаружить более одной утечки на серии практически невозможно. В действующих сериях, где рядом расположены и «молодые» и «старые» ванны очень тяжело выявить

утечки и по снижению производительности ванн. Поэтому контроль над состоянием изоляции серии и отдельных ванн, как во время капитального ремонта ванн, так и во время их эксплуатации требует повышенного внимания.

Ситуация 5. Серия с равномерными утечками, но в группе № 4 возник анодный эффект; R 1GRUP–R 16GRUP – сопротивление групп одинаковы и равны – 0,0004 Ом, сопротивления групп одинаковы и равны 0,0004 Ом; сопротивления изоляции Rd1 – Rd16 равны 10 Ом.

Анодный эффект – это резкое повышение сопротивления ванны, при этом напряжение возрастает до 20-50 В. Частота возникновения анодных эффектов обычно составляет от 0,3 – 1,5 АЭ в сутки на электролизер. Длительность анодного эффекта обычно составляет 1,5-2,0 минуты. Рассмотрим ситуацию возникновения АЭ на группе № 4, увеличив ее сопротивление до 0,00075 Ом, что соответствует напряжению АЭ на одной ванне равному 30,0 В (рисунок 5).

Из этого графика видно, что при АЭ значительно снижается ток серии, но практически не изменяется равномерность утечек. Производительность ванн серии во время анодного эффекта снижается пропорционально «просадке» тока. Эта величина зависит от многих причин и может достигать несколько кА (5-8 кА).

Высокая частота, напряжение и длительность анодных эффектов снижает производительность ванн серии, снижает выделяющуюся мощность и на ваннах, на которых в данный момент нет анодного эффекта, что приводит к ухудшению технологического хода этих ванн.

Таким образом, необходимо по возможности максимально снижать частоту, длительность и напряжение анодного эффекта, что позволит увеличить производительность серии.

Ситуация 6. Все электролизеры идеальны, но в группе № 1 имеется утечка на «землю» через амперметр. R 1GRUP–R 16GRUP – сопротивления групп одинаковы и равны – 0,0004 Ом; Rd1 – сопротивление изоляции группы № 1 равно – 0 Ом, в остальных группах сопротивления изоляции равны – 10 Ом.

Данная ситуация рассматривается как крайний случай, но это позволит оценить влияние токов утечки на технологический ход ванн серии. Эту ситуацию рассмотрим при автоматическом регулировании сопротивления ванн при помощи систем автоматического управления процессом электролиза (АСУ ТП) (рисунок 6).

В системах автоматического регулирования используется приведенное напряжение, учитывающее просадки тока серии. При расчете приведенного напряжения, по известной формуле,

$$U_{пр} = [(U_p - E) \cdot (I_n / I_{мгн})] + E$$

используется значение тока серии измеренное на КПП, т.е. $I_{мгн} = 100$ кА, а реально через ванны течет ток ниже на величину токов утечки. Поскольку напряжение на ваннах при утечке ниже, а система не измеряет ток текущий по каждой ванне, то при регулировании система будет «выкручивать» ванны группы до заданного напряжения, т.е. до 40,0 В на группу, чрезмерно увеличивая междуполюсное расстояние ванн.

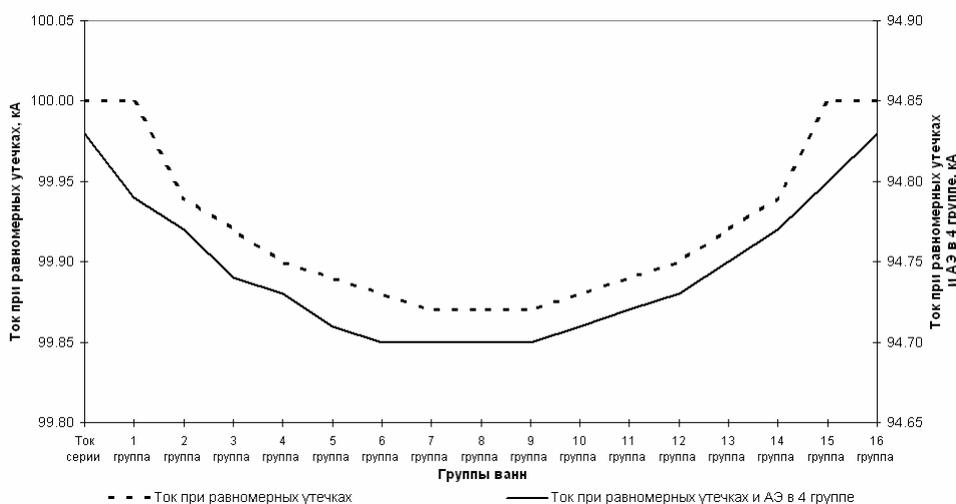


Рисунок 5 – Изменение токов по группам без анодного эффекта и с анодным эффектом в группе № 4

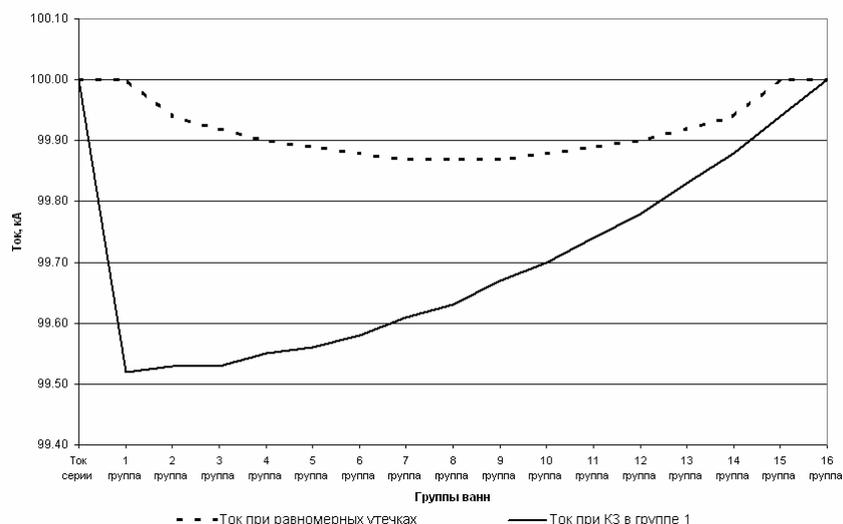


Рисунок 6 – Изменение токов по группам при равномерных утечках и при коротком замыкании на «землю» в группе № 1

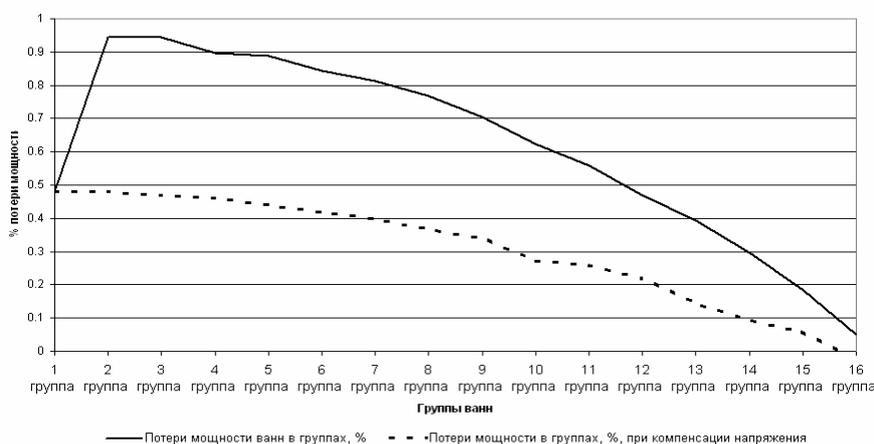


Рисунок 7 – Потери мощности ванн в группах (в %) при КЗ в группе № 1, до и после регулирования напряжения на ваннах

Это приведет к нецелесообразному увеличению среднего напряжения на серии, но позволит частично компенсировать потерю мощности ванн.

Рассмотрим изменение температуры электролита. Для этого примем, что все ванны идеальны и одинаковы, а температура пропорциональна мощности выделяющейся на электролизере. Температуру группы идеальных электролизеров примем равной 955 °С при мощности, выделяющейся в электролите ванны, равной 166 кВт·ч.

Пересчитав потерю мощности в %, получим зависимость потери мощности до, и после регулирования ванн в группах (рисунок 7).

Согласно допущению пересчитаем изменение температуры ванн из-за недобора мощ-

ности (рисунок 8). В соответствии с законом Ома, увеличение сопротивления в последовательной цепи приводит к увеличению напряжения, но ток серии остался прежним. Поэтому из-за недобора мощности температура до регулирования на ваннах 2 группы с 955 °С снизилась до 946 °С, после регулирования осталась ниже на 5 °С. Следовательно, мощность ванн не полностью компенсирована и температура электролита снизилась.

Для полной компенсации мощности и температуры потребуется увеличить напряжение на ваннах в группах на величину обратно пропорциональную недобору мощности. Полученный результат отображен на рисунке 9.

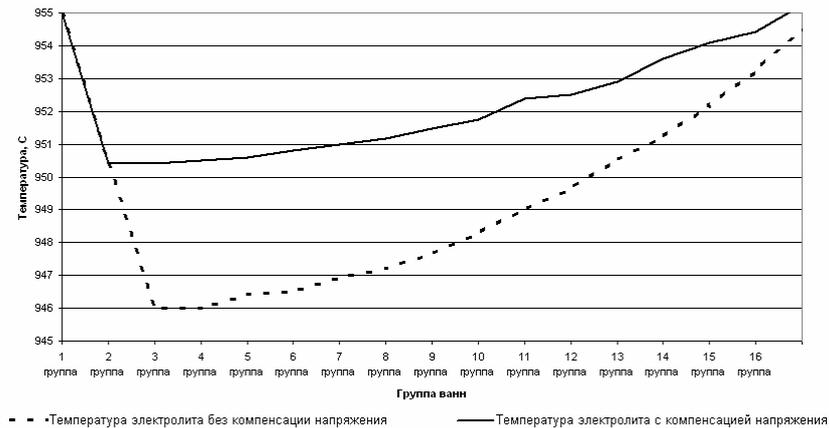


Рисунок 8 – Изменение температуры электролита на группах ванн при утечке тока в группе № 1 до и после регулирования напряжения в группах

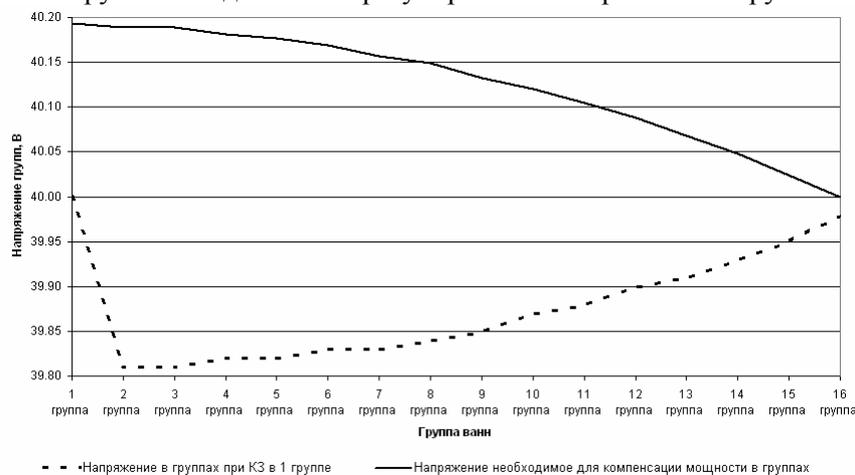


Рисунок 9 – Напряжение на группах ванн при утечке в группе № 1 и напряжение, необходимое для компенсации потерянной мощности

Нетрудно заметить, что для компенсации потерянной мощности необходимо иметь напряжение в группах ванн выше 40,0 В, в сумме на серию эта добавка составит 3,95 В, т.е. величину сопоставимую с напряжением одного электролизера.

Таким образом, потери от утечки тока через короткое замыкание в группе № 1 выразились не только в уменьшении производительности, но и в повышенном расходе электроэнергии.

Возможности существующих АСУ ТП поддерживать необходимое напряжение на ваннах, недостаточны для полной компенсации потери мощности и требуют, измерения дополнительных параметров, либо ручного вмешательства персонала.

Выводы:

- Необходимо уделять постоянное внимание повышению изоляции электролизеров от «земли»;

- Контроль изоляции серии необходимо осуществлять постоянно при всех режимах работы;
- Для автоматического управления ваннами необходимо учитывать состояние изоляции серии, для чего целесообразно доработать алгоритмы управления с учетом фактических токов утечки;
- Необходимо совершенствовать методы и приборы измерения изоляции серии с возможностью вывода этой информации на АСУ ТП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Electronics Workbench. Professional Edition. Technical Reference. Vers. 5. Interactive Image Technologies Ltd. Canada, 1996
2. Журавин Ю.Д. Особенности электрообеспечения алюминиевых электролизеров / Ю.Д. Журавин, М.Я. Минцис. – М.: Металлургия, 1982. – 78 с.

В.А. Дорошенко, Б.В. Дорошенко

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

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОМЫШЛЕННЫХ ФОСФОРИСТЫХ
КОНВЕРТЕРНЫХ ШЛАКОВ

В лабораторных условиях были определены температура плавления, вязкость и поверхностное натяжение фосфатшлаков на промежуточной повалке конвертера и в конце продувки. Результаты экспериментов показали, что указанные физические свойства шлаков являются структурно-чувствительными свойствами и оказывают большое влияние на процесс шлакообразования.

Промышленные опытные плавки были проведены на Карагандинском металлургическом комбинате в 250-т конвертерах с промежуточным скачиванием шлака. На промежуточных повалках и в конце продувки отбирали пробы шлака для определения физических свойств – температуры плавления, вязкости и поверхностного натяжения.

Температуру плавления шлаков определяли оптическим методом на микропечи. Тугоплавкость (температура начала плавления шлака, $T_{н.пл.шл.}$) промышленных промежуточных и конечных фосфатшлаков КарМК приведена на рисунке. Необходимо отметить, что

исследуемые промышленные шлаки соответствуют периоду конца (70-100 %) времени продувки, а потому не могут полностью характеризовать изменение тугоплавкости фосфатшлаков по ходу всей плавки.

Причем, составы промышленных шлаков нанесены на диаграмму $(CaO)'-(FeO)'-(P_2O_5)$ без пересчета на сумму $CaO+FeO+MnO+P_2O_5 = 100 \%$ (рисунок). Это, конечно, несколько искажает положение областей изоплавкости, однако позволяет использовать диаграмму для определения $T_{н.пл.шл.}$ по заводским экспрессным содержания CaO и P_2O_5 в шлаке.

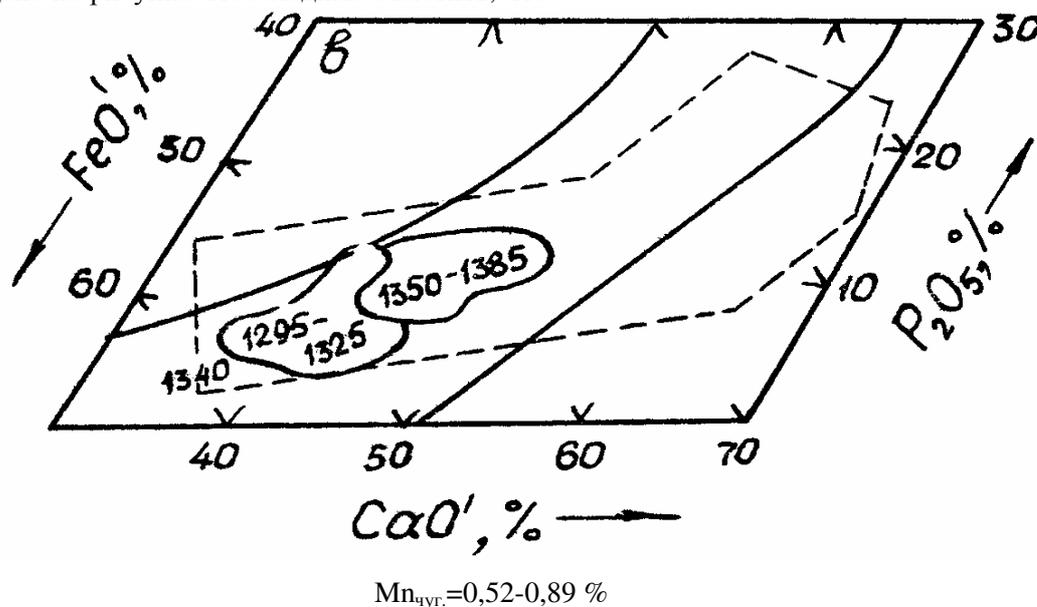


Рисунок – Расположение областей изоплавкости в системе $(CaO)'-(FeO)'-(P_2O_5)$ фосфатшлаков при переделе фосфористого чугуна

Пересчет составов шлаков на указанную сумму оксидов показал, что области изоплавкости конечных и особенно промежуточных шлаков смещаются вверх вдоль области предпочтительных составов.

При содержании 0,52-0,89 % Mn в чугуна промышленные шлаки область легкоплавких конечных шлаков достаточно хорошо совпадает с областью легкоплавких шлаков лабораторных шлаков. Аналогичное совпадение и с областью тугоплавких промежуточных шлаков. Тугоплавкость ($T_{н.пл.шл.}$) промежуточных шлаков колеблется в пределах 1623-1658 К, что в среднем на 50-65 °С выше $T_{н.пл.шл.}$ конечных шлаков, т.е. повышение окисленности шлака с 35-45 до 45-58 % FeO уменьшает тугоплавкость конечных шлаков до 1568-1598 К. Высокоокисленные шлаки додувки имели $T_{н.пл.шл.}$ 1558-1603 К, т.е. в среднем на 25 °С ниже, чем у конечных шлаков, что обеспечивало перегрев шлака на 270-315 °С относительно температуры металла. По-видимому, значительное окисление железа в додувку является нецелесообразным, т.к. это приводит к потере металла и ухудшению его качества. Разжижение шлака необходимо производить не за счет переокисления шлака, а за счет присадки разжижителя, например, шлама глиноземного производства.

Для определения вязкости промежуточных и конечных шлаков применялся вискозиметр ротационного типа. Результаты экспериментов показали, что вязкость промышленных шлаков практически изменяется в тех же пределах, что и лабораторных шлаков.

Изменение вязкости фосфатшлака по ходу плавки показало, что обычно уваренный расплав имел жидкоподвижность в пределах 0,01-0,05 Па·с. Свертывание шлака, его гетерогенное состояние, присущее для передела чугуна с концентрацией марганца менее 0,5 % приводило к увеличению вязкости до 0,3-0,5 Па·с.

Более вязкие шлаки (0,35-0,50 Па·с) получались в течение 50-60 % времени продувки в период окисления углерода при отношении

P/Si в чугуна менее 1,6. Повышение отношения P/Si более 1,6-2,0 обеспечивало жидкоподвижные шлаки. Наиболее полно проявляется влияние отношения P/Si при концентрации марганца в чугуна от 0,3 до 0,9 %. Вязкость промежуточных шлаков, скачиваемых на 60-80 % времени продувки, относительно высокая и составила, как правило, 0,035-0,25 Па·с, что в 3-10 раз выше жидкоподвижности конечных шлаков. Такая значительная разница определяется невысоким перегревом (50-100 °С) над точкой плавления и присутствием избыточной извести.

Определение поверхностного натяжения промышленных шлаков проводилось по методу максимального давления газа в пузырьке. Величина поверхностного натяжения шлаков изменялась в пределах 0,186-0,473 Н/м. Шлаки с высокой окисленностью имели величину поверхностного натяжения 0,186-0,230 Н/м, а с повышенной концентрацией оксида кальция 0,372-0,477 Н/м.

В среднем промежуточные шлаки имели поверхностное натяжение порядка 0,377 Н/м (0,318-0,473 Н/м), а конечные – 0,285 Н/м (0,186-0,439 Н/м), что подтверждает влияние, главным образом, окисленности шлака на понижение величины поверхностного натяжения.

Таким образом, определение удельной поверхности энергии показало, что конечные окисленные фосфатшлаки имеют поверхностное натяжение 0,230-0,300 Н/м, а в начале продувки – 0,270-0,470 Н/м.

Значительное различие значений поверхностного натяжения в начале продувки связано с колебанием окисленности шлака и содержанием в нем CaO.

Промышленные шлаки фосфористого передела КарМК имеют среднюю поверхностную энергию 0,377 Н/м для скачиваемого шлака и 0,285 Н/м для конечного шлака.

Повышение марганца в чугуна в целом повышает поверхностное натяжение, а увеличение отношения P/Si приводит к его снижению.

М.В. Темлянцев

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

ОГРАНИЧЕНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИ ФОРСИРОВАННОМ НАГРЕВЕ ШАРООБРАЗНЫХ СТАЛЬНЫХ ТЕЛ

В статье представлены результаты разработки номограммы для определения допустимой температуры среды из условия отсутствия нарушений сплошности при форсированном нагреве стальных тел шарообразной формы.

Работа выполнена в рамках ведомственной научной программы «Развитие научного потенциала высшей школы», код проекта 4008

Форма шара является достаточно распространенной в производстве стальной продукции. Стальные шары применяются при изготовлении подшипников, используются в качестве мелющих тел в барабанных мельницах.

При форсированной тепловой обработке стали значительные перепады температур по сечению нагреваемых или охлаждаемых заготовок формируют значительные напряжения, которые могут вызвать разрушение тела. В связи с этим исследование ограничений на управляющие и технологические параметры (температура греющей среды, перепад температур по сечению тела) актуально и имеет практическое значение.

В работах [1-5] при оценке стойкости заготовок к разрушению от температурных напряжений были установлены разрушающие Δt_p перепады температур по сечению. На их основе максимальные допустимые перепады определяют согласно соотношению

$$\Delta t_{\max} \leq \frac{\Delta t_p}{K_3}, \quad (1)$$

где K_3 – коэффициент запаса, в общем случае учитывает влияние размеров стального тела, структуры, наличия остаточных напряжений и др. факторов. Для заготовок с предварительно деформированной структурой не нагруженных остаточными напряжениями $K_3=1,1 - 1,5$. В случае заготовок с литой структурой не нагруженных остаточными напряжениями $K_3=1,75 - 2,0$ [6, 7].

Для прогнозных расчетов форсированных

режимов нагрева пластины, цилиндра и квадратной призмы при граничных условиях III рода при постоянной температуре среды ($t_c = \text{const}$) в работах [8-10] получены удобные для практического использования номограммы. Они построены по результатам исследования выражения

$$\frac{\Delta t}{t_c - t_0} = f(Bi, Fo, \Phi), \quad (2)$$

где t_0 – начальная температура тела, °С; Bi и Fo – числа Био и Фурье соответственно; Φ – форма тела.

На базе аналитического решения развернутой функциональной зависимости (2) [12] находят относительное время (Fo_{\max}) достижения максимального перепада в нагреваемом теле, допустимую температуру среды при которых достигаются различные перепады температур по сечению.

В рамках данной работы аналогичным путем разработана номограмма для шара, которая представлена на рисунке. Номограмма многофункциональна, основы ее применения рассмотрим на примере.

Пример: в печи необходимо ускоренно нагреть шары радиусом 0,05 м из стали со следующими теплофизическими свойствами $\lambda=25$ Вт/(м·К), $a=0,55 \cdot 10^{-5}$ м²/с, коэффициент теплоотдачи в печи $\alpha=500$ Вт/(м²·К), максимально допустимый перепад ($\Delta t = \Delta t_{\max}$) по толщине шара из условий прочности для данной стали составляет 300 °С.

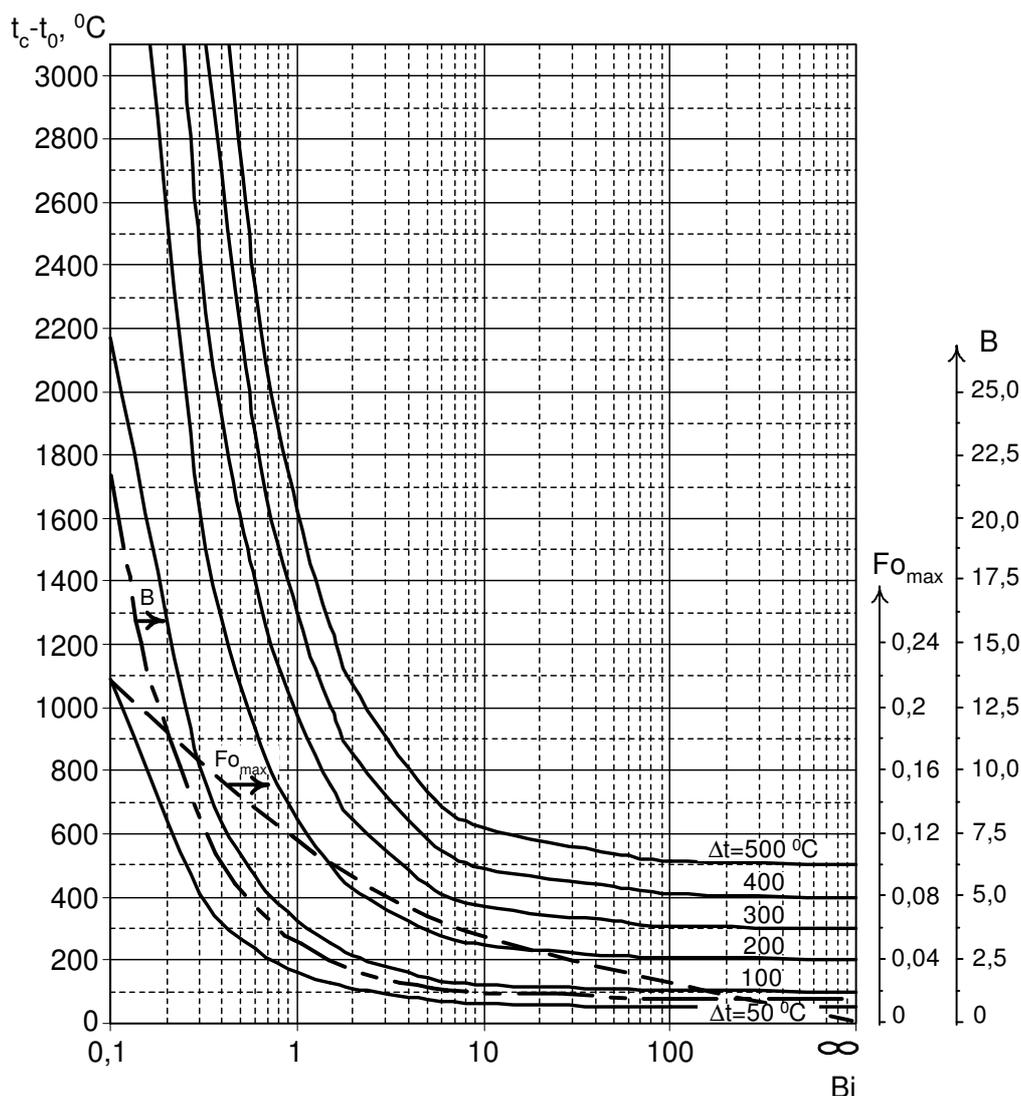


Рисунок – Номограмма для определения температуры греющей среды при тепловой обработке стальных тел шарообразной формы с учетом максимальных перепадов температур по сечению

Необходимо найти: время достижения максимального перепада температуры по сечению, допустимую температуру печи при посадке шаров с начальной температурой 0 °С и 100 °С. При перечисленных исходных данных число $Bi=1$, проводя линию перпендикулярную оси Bi до пересечения с кривой Fo_{max} находим его численное значение, которое составляет 0,116, соответственно максимальный перепад температур сформируется через 53 с. Через точку пересечения перпендикуляра с кривой $\Delta t=300$ °С проводим линию, параллельную оси Bi и находим разность t_c-t_0 , которая будет соответствовать максимально допустимой температуре среды при нагреве с холодного посада, в нашем случае 976 °С. При нагреве шаров с начальной температурой 100 °С допустимая температура среды составит 1076 °С.

При допустимых перепадах температур отличных от 50, 100, 200, 300, 400 и 500 °С температуру среды рассчитывают по соотношению

$$t_c = t_0 + B \cdot \Delta t, \quad (3)$$

где B – коэффициент определяемый из номограммы.

С точки зрения термической массивности, среди тел простой формы (пластина, цилиндр и шар) наиболее массивным является пластина, а наименее – шар. При установлении ограничений на температуру греющей среды это проявляется при прочих равных условиях в возможности безопасного нагрева в среде с более высокой температурой. В частности, сравнительный анализ диаграмм для пластины и цилиндра [8, 9] показывает, что для теплофизических свойств стали и условий теплообмена приведенных выше в примере, темпе-

ратура среды при нагреве пластины с холодного посада из условий прочности должна составлять 900 °С, а цилиндра примерно 950 °С.

Максимальная плотность теплового потока q_{\max} , Вт/м² в случае нагрева при граничных условиях II рода может быть определена по соотношению:

$$q_{\max} = \frac{2 \cdot \lambda}{R} \cdot \Delta t_{\max} \quad (4)$$

Траектория изменения температуры греющей среды в случае максимально форсированного нагрева при граничных условиях III рода ($t_c=f(\tau)$):

$$t_c = t_{\text{пов}} + \frac{q_{\max}}{\alpha} \quad (5)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стариков В.С. Исследование разрушения заготовок из конструкционных углеродистых сталей с литой и катаной структурой при интенсивных тепловых обработках / В.С. Стариков, М.В. Темлянцев // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2002. – № 4. – С. 37-41.
2. Темлянцев М.В. Исследование разрушения заготовок из конструкционных подшипниковых сталей с литой и катаной структурой при скоростных тепловых обработках / М.В. Темлянцев, В.С. Стариков, В.В. Ерастов // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2002. – № 12. – С. 55-57.
3. Темлянцев М.В. Исследование разрушения заготовок из конструкционных хромкремнемарганцовистых сталей с деформированной и литой структурой при скоростных тепловых обработках / М.В. Темлянцев, В.С. Стариков, В.В. Ерастов // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2003. – № 2. – С. 62-64.
4. Темлянцев М.В. Исследование разрушения заготовок из конструкционных рессорно-пружинных сталей с катаной и литой структурой при комбинированных тепловых обработках / М.В. Темлянцев, В.С. Стариков // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2003. – № 4. – С. 56-58.
5. Темлянцев М.В. Разрушение заготовок из конструкционных хромистых сталей при интенсивных тепловых воздействиях / М.В. Темлянцев, В.С. Стариков, В.Н. Перетятыко // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2003. – № 6. – С. 44-46.
6. Стариков В.С. Разрушение инструментальной углеродистой стали при тепловой обработке / В.С. Стариков // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1992. – № 6. – С. 58-60.
7. Особенности технологии нагрева катаной и литой подшипниковой стали перед горячей механической обработкой / В.С. Стариков, Е.А. Колотов, С.Е. Елагин, В.Ф. Вагнер // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1994. – № 2. – С. 58-64.
8. Стариков В.С. Оптимально форсированная тепловая обработка стальных цилиндрических заготовок с ограничением температурной неравномерности по сечению / В.С. Стариков // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1994. – № 8. – С. 50-53.
9. Браунштейн Е.Р. О горячих и холодных трещинах в сталях при механическом и тепловом нагружении / Е.Р. Браунштейн, В.С. Стариков, Т.П. Гуляева // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1996. – № 4. – С. 42-45.
10. Стариков В.С. Совершенствование нагрева стальных заготовок в методических печах с шагающим подом / В.С. Стариков, В.В. Семахин, Н.В. Титов // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1997. – № 8. – С. 64-69.
11. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.

В.А. Дегтярь, В.В. Лялин

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

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ОКСИДНЫЕ ФЛЮСЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

В работе представлен альтернативный способ рафинирования алюминия и его сплавов от неметаллических включений. Предлагается отказаться от применения традиционных солевых реагентов, исключив образование токсичных солевых шлаков и вредного воздействия возгонов солей на обслуживающий персонал в процессе эксплуатации оборудования. Сущность способа заключается в обработке расплава реагентом, содержащим оксид кальция, и переводе оксида алюминия и оксидов основных примесей в соединения $x\text{CaO}\cdot y\text{MeO}$.

Среднегодовая цена на алюминий технической чистоты на Лондонской бирже цветных металлов (LME) за 2004 год составила около 1700 долларов США за одну тонну, при средней себестоимости на предприятиях компании Русский алюминий 920 долларов США. Это говорит о том, что в настоящее время алюминиевая отрасль является одной из самых высокодоходных сфер экономики. Поэтому разработка и внедрение мероприятий, направленных на снижение издержек на различных стадиях производства, будет приносить ощутимый экономический эффект.

Кроме того, в мире давно идет процесс ужесточения государством экологических требований к промышленным предприятиям. И в России в ближайшем будущем следует ожидать ужесточения экологических стандартов и существенного повышения штрафов за их нарушение, особенно в отношении высокодоходных сфер бизнеса.

Поэтому, в России, в связи с использованием, в основном, устаревших технологий и оборудования, не отвечающих современным требованиям охраны окружающей среды, особенно остро стоит вопрос о необходимости разработки принципиально новых технологий, исключающих образование вредных и опасных техногенных отходов, их воздействие на обслуживающий персонал и окружающую среду, при этом требующих минимальных капитальных вложений.

Существует большое количество способов очистки алюминия и его сплавов от неметал-

лических включений, однако широкое распространение в мире получил комбинированный метод, заключающийся в обработке расплава газом (обычно аргоном) и солевым реагентом, с последующей фильтрацией. В качестве солевого реагента используется смесь хлоридов и фторидов натрия, калия, магния и алюминия, т.е. соли, в результате взаимодействия которых с расплавом образуются экологически опасные, токсичные солевые шлаки. В странах ЕС, Японии и Северной Америки захоронение солевых шлаков законодательно запрещено, поэтому их подвергают дорогостоящей гидрометаллургической переработке. В России эти шлаки вывозятся в могильник, что требует дополнительных затрат, ухудшает и без того сложную экологическую ситуацию в промышленных регионах. Кроме того, в процессе реализации данной технологии в моменты загрузки-выгрузки сырья и других операций, происходят выбросы парогазовой смеси солей, негативно воздействующие на обслуживающий персонал и оборудование.

Несмотря на достаточно высокие значения металлургического выхода, у солевой технологии отсутствует перспектива его увеличения из-за физико-химических закономерностей, лежащих в основе процесса. Поверхностное натяжение на границе раздела фаз металл – соль не препятствует диспергированию в солевую фазу жидкого алюминия фракции – 2 мм, которая не подлежит дальнейшей металлургической переработке. Кроме того, алюминий мелких фракций, находящийся да-

же в холодных солевых шлаках, продолжает окисляться из-за взаимодействия с солями; так его содержание через 25 суток уменьшается на 30 %, а через 55 суток на 75 % во фракции 5-2,5 мм, доля которой первоначально составляет до 50 % от всего алюминия в шлаке [2].

Помимо этого, солевая технология, принцип которой заключается в растворении оксида алюминия в расплавленном флюсе, не позволяет удалять пленку из металлического алюминия с поверхности частиц оксида, переходящего в шлак, что является препятствием дальнейшего повышения металлургического выхода.

В настоящей работе предложен альтернативный рафинирующий реагент, содержащий углекислый кальций – известняк, доломит. При взаимодействии оксида кальция с окисными включениями, находящимися в расплавленном алюминии (оксид алюминия, оксид кремния) образуются алюминаты и силикаты кальция, переходящие в шлак, а вместе с ними ассимилированный водород.

Кроме того, декарбонизация известковых материалов создает дополнительный барботирующий эффект, способствующий удалению водорода.

Предлагаемая технология включает следующие основные операции:

- получение ванны из алюминия;
- введение алюминия или его отходов под «зеркало» расплава;
- обработка расплава оксидсодержащими реагентами для создания условий агрегирования неметаллических включений;
- выдержка расплава с целью завершения процесса разделения металлической и оксидных составляющих;
- удаление «сухого» шлака и слив металла.

В ходе лабораторных исследований и опытно-промышленных испытаний установлена возможность рафинирования алюминия от неметаллических включений известковым реагентом, при этом газосодержание алюминия технической чистоты не превышало $0,18 \text{ см}^3 / 100 \text{ г}$, загрязнения алюминия кальцием отмечено не было. Металлургический выход при переработке различных видов исходного сырья превышал показатели солевой технологии на 1-3,5 %. Так, при рафинировании стружки в лабораторных условиях показатель металлургического выхода составил 96,5 %.

Образующийся шлак, состоящий из алюминатов кальция и, частично, силикатов экологически безопасен и имеет перспективы дальнейшей коммерческой реализации. Может применяться в дорожном строительстве, при производстве цемента, литых изделий – дорожной брусчатки, бордюрных камней, дорожной плиты, в сельском хозяйстве в качестве удобрения для известкования (раскисления) почв.

Кроме того, образующийся шлак обладает эффектом саморассыпания до тонкодисперсного, пылеобразного состояния. На 85-90 % шлак состоит из фракции крупностью –2 мм. Таким образом, существует реальная возможность достаточно легко и при этом практически полностью доизвлекать металлический алюминий любых фракций, перешедший в шлак, используя гравиметрический или иной способ разделения материалов. При этом, появляется возможность извлечения мелких фракций алюминия (-5 мм), переработка которых по существующей технологии считается экономически не целесообразной.

Сравнительный экономический анализ показал, что применение оксидной технологии обеспечивает снижение прямых затрат на 1000 – 2500 рублей на производство 1 тонны алюминия в зависимости от исходного материала за счет факторов:

- замена дорогостоящего солевого сырья на оксидное, цена 1 тонны оксидного флюса в 3-5 раз ниже цены солевого;
- увеличение металлургического выхода;
- исключение дорогостоящего захоронения или переработки солевых шлаков;
- улучшение экологической обстановки на предприятии, отсутствие воздействия токсичных выбросов на обслуживающий персонал.

Для дальнейшего развития оксидной технологии, необходимы исследования по влиянию фазового и гранулометрического состава твердого флюса, компонентов металлической, солевой фаз и других параметров процесса на металлургический выход и экономическую эффективность новой технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабушкин В.И. Термодинамика силикатов: Учеб. пособие / В.И. Бабушкин. – Ленинград: Стройиздат, 1972. – 503 с.
2. Погодаев А.М. Проблемы переработки шлаков алюминиевого производства: Высшие

алюминиевые курсы / А.М. Погодаев, И.А. Погодаева. – Красноярск, 2002. – 220 с.

3. Лайнер А.И. Производство глинозема: Учеб. пособие / А.И. Лайнер. – М.: Metallurgia, 1961. – 619 с.

УДК 621.746

В.Б. Деев, А.П. Войтков, И.Ф. Селянин

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

ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ ОТ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ ШИХТЫ

В статье изучено влияние шихты с различной наследственностью на процесс кристаллизации стандартных алюминиевых сплавов. Показано, что применение шихтовых переплавов с заданной наследственностью позволяет получить более совершенную кристаллическую структуру и повысить свойства сплавов в отливках.

Известно, что металлы и сплавы микронеоднородны по своему строению. Длительное время считалось, что микронеоднородность возникает только в процессе кристаллизации. В настоящее время установлено, что и жидкие металлы микронеоднородны по структуре, хотя и в меньшей степени, чем твердые [1]. Более правильно считать, что при кристаллизации не возникает, а только усиливается микронеоднородность металлов и сплавов. Поэтому необходимо стремиться к получению более гомогенного расплава перед кристаллизацией, так как однородность структуры и свойств расплава определяет стабильность технологических и механических свойств литых сплавов [2, 3]. Механизм процесса кристаллизации и определяемое им строение, а также свойства формирующейся твердой фазы в определенной мере зависят от структуры ближнего порядка расплава. Увеличение температуры нагрева расплава до и выше температур критических превращений (структурных перестроек) оказывает положительное влияние на формирование в нем более совершенной кристаллической структуры. Таким образом, совершенство кристаллического строения твердой фазы зависит от структуры жидкости. Сравнительно слабо перегретый над линией ликвидуса расплав значительно микронеоднороден, что приводит к появлению структуры, характеризующейся неоднородными по величине структурными состав-

ляющими [1]. Отсюда очевидно, что наследственная структура сплава связана не только с процессом кристаллизации, но и с состоянием расплава. В связи с этим раскрытие и уточнение механизма кристаллизации расплавов с различными элементами структуры расплава (ЭСР) является важным этапом при разработке теории наследственных явлений.

Согласно существующим представлениям [4, 5], влияние измельченной структуры шихты проявляется в существенном ускорении процесса кристаллизации. Это связано с модифицирующим действием мелкокристаллической шихты, которое можно объяснить, используя известные представления о микронеоднородности строения расплавов [6]. По Никитину В.И. [4], возбуждающее действие мелкокристаллической шихты на зародышеобразование в расплаве объясняется ощутимым изменением энергетических условий равновесности системы, усилением взаимодействия атомов, кластеров и других дисперсных частиц. Активную роль в процессе кристаллизации сплавов системы алюминий-кремний играют следующие элементы структуры расплава (ЭСР), унаследованные от шихты - кластеры кремния и различные частицы типа Al_nSi_m [2, 3].

Устранить или снизить микронеоднородность расплавов можно с помощью термовременной обработки (ТВО), которая в последнее время получила широкое распространение на

многих металлургических и машиностроительных предприятиях при изготовлении литейных сплавов. ТВО представляет из себя нагрев расплава свыше температуры критических превращений и оптимальную временную выдержку. В результате расплав становится более однороден и соответственно этому повышается качество получаемого сплава. Особенную перспективу имеет применение ТВО в переплавных процессах.

В данной работе проведено исследование наследственного влияния шихты на кристаллизационный процесс силуминов доэвтектического (сплав АК7ч – ГОСТ 1583-93) и эвтектического (сплав АК12 – ГОСТ 1583-93) составов. Для исследований использовали три вида шихты с различной наследственностью: 1 – ПГФ-возврат, на 100 % состоящий из крупнозернистого лома и возврата отливок, залитых в песчано-глинистые формы; 2 – К-возврат, на 100 % состоящий из возврата отливок, залитых в кокили; 3 – ТВО-шихту, состоящую на 100 % из подвергнутого ТВО по предварительно определенным оптимальным режимам (сплав АК7ч – $T_{\text{ТВО}} = 990-1000$ °С, $\tau = 20$ минут; сплав АК12 – $T_{\text{ТВО}} = 1120-1130$ °С, $\tau = 15$ минут) и залитого в кокиль ПГФ-возврата. Таким образом, структуры ближнего порядка расплавов из исследуемых шихт были разными.

Плавки проводили в печах СШОЛ и ИСТ-0,06 с использованием графитовых тиглей. При плавке во всех типах печей, для получения ориентировочного состава шихта рассчитывалась, материалы предварительно дробились и взвешивались. Перед заливкой расплавы обрабатывали препаратом «Дегазер» (ГУ 6-02-637-75). Температура заливки для всех сплавов составляла 730-740 °С. Контроль температуры при изготовлении сплавов осуществляли в печи термопарами типа ХА и потенциометром типа ПП-63 класса 0,5.

Для оценки наследственного влияния структуры шихты на параметры кристаллизации и свойства сплавов использовали метод термического анализа. Температурная кривая охлаждения в координатах «температура-время» фиксировалась с помощью хромель-алюмелевой термопары и двухкоординатного самопишущего потенциометра с непрерывной записью «Эндим» на цилиндрических образцах $\varnothing 40$ мм, залитых в песчано-глинистые формы. Отвод тепла от образцов из сплавов различного состава и различной шихты осуществлялся через одну и ту же песчано-

глинистую форму с определенной теплопроводностью, влияние которой, независимо от каждого отдельного случая, носило постоянный характер. При одинаковых условиях охлаждения образцов из различных сплавов температурные кривые охлаждения отражали изменения, происходящие в процессе затвердевания залитых в форму образцов в зависимости от используемой шихты и состава сплава. Все исследованные образцы, полученные из расплавов с различным уровнем микронеоднородности, кристаллизовались в строго одинаковых условиях теплоотвода, что позволило провести достаточно корректный анализ влияния температуры перегрева расплавов силуминов на кривые охлаждения и структуру затвердевшего металла.

В таблицах 1 и 2 приведены данные, полученные с помощью термического анализа, по некоторым параметрам процесса кристаллизации сплавов, в зависимости от используемой шихты: температуры фазовых превращений (T_{α} – температура первичной кристаллизации, $T_{\alpha+\beta}$ – температура эвтектической кристаллизации), величина переохлаждения при фазовых переходах (ΔT_{α} и $\Delta T_{\alpha+\beta}$), полное время затвердевания сплавов ($\tau_{\text{П}}$).

Результаты свидетельствуют, что использование более мелкокристаллической шихты (К-возврата и ТВО-шихты) ускоряет процесс кристаллизации силуминов. В таблице 1 показано, при использовании ТВО-шихты наблюдается самое минимальное время полного затвердевания по сравнению со сплавами из ПГФ-возврата и К-возврата. Время затвердевания образцов, полученных из К-возврата, в среднем на 4-5 % меньше, а образцов из ТВО-шихты, на 10-12 % меньше, чем у образцов из ПГФ-возврата. Это характерно и для доэвтектического и для эвтектического сплавов.

Структура шихты оказывает влияние на некоторые характеристики затвердевающих сплавов. Температура первичной кристаллизации у обоих исследуемых сплавов из К-возврата начинается на 5-8 °С ниже, чем у этих сплавов из ПГФ-возврата; сплавы из ТВО-шихты имеют температуру начала выпадения первичных кристаллов на 9-11 °С ниже, чем сплавы из ПГФ-возврата.

Температура эвтектической кристаллизации у обоих сплавов из К-возврата и ТВО-шихты на 2-3 °С и 3-6 °С соответственно меньше, чем у сплавов из ПГФ-возврата.

Таблица 1 – Величина переохлаждения при фазовых переходах и полное время затвердевания ($\tau_{п}$) силуминов в зависимости от состава и вида шихты

Сплав	Величина переохлаждения в зависимости от шихты, °С, среднее значение по трем измерениям						$\tau_{п}$, мин., среднее значение по трем измерениям		
	ΔT_{α}			$\Delta T_{\alpha+\beta}$					
	ПГФ-возврат	К-возврат	ТВО-шихта	ПГФ-возврат	К-возврат	ТВО-шихта	ПГФ-возврат	К-возврат	ТВО-шихта
АК7ч	-	3	7	-	4	4	6,91	6,55	6,04
АК12	-	4	7	-	4	-	6,06	5,75	5,39

Таблица 2 – Температуры фазовых превращений в сплавах в зависимости от состава и вида шихты

Сплав	Температуры фазовых превращений в зависимости от шихты, °С (среднее значение по трем измерениям)					
	T_{α}			$T_{\alpha+\beta}$		
	ПГФ-возврат	К-возврат	ТВО-шихта	ПГФ-возврат	К-возврат	ТВО-шихта
АК7ч	617	609	606	580	577	574
АК12	582	577	573	577	575	574

У сплава АК7ч переохлаждение ΔT_{α} наблюдается при использовании К-возврата и ТВО-шихты и составляет 3 и 7 °С соответственно. Переохлаждение $\Delta T_{\alpha+\beta}$ также присутствует при использовании К-возврата ($\Delta T_{\alpha+\beta} = 4$ °С) и ТВО-шихты ($\Delta T_{\alpha+\beta} = 4$ °С) (таблица 1).

Сплав АК12 при затвердевании имеет переохлаждение ΔT_{α} при использовании К-возврата ($\Delta T_{\alpha} = 4$ °С) и ТВО-шихты ($\Delta T_{\alpha} = 7$ °С). Переохлаждение $\Delta T_{\alpha+\beta}$ у сплава из К-возврата составляет 4 °С. У сплава из ТВО-шихты переохлаждение при эвтектической кристаллизации отсутствует.

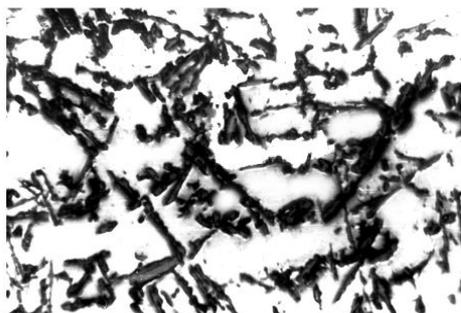
После кристаллизации был проведен металлографический анализ образцов, вырезанных из образцов для исследования кристаллизации. Микроструктура сплавов АК7ч и АК12, изготовленных из различной шихты, приведены на рисунке. Из рисунка следует, что применение ПГФ-возврата способствует получению сплавов с достаточно грубой немодифицированной структурой. К-возврат позволяет улучшить характеристики составляющих микроструктуры, что проявляется в небольшом измельчении α -зерен и эвтектики. ТВО-шихта значительно изменяет размеры и морфологию составляющих микроструктуры по сравнению с К-возвратом – наблюдается стабилизация и более сильное измельчение эвтектики.

Характер полученных кривых охлаждения сплавов из всех трех типов шихты в целом не отличался друг от друга. Разница состояла в температурах начала фазовых переходов, величине переохлаждения при первичной и эвтектической кристаллизации и продолжительности затвердевания. Проведенными исследованиями показано, что использование мелкокристаллической шихты (К-возврата и ТВО-шихты) уменьшает время полного затвердевания сплавов по сравнению с ПГФ-возвратом. В основном это является следствием уменьшения времени эвтектической кристаллизации.

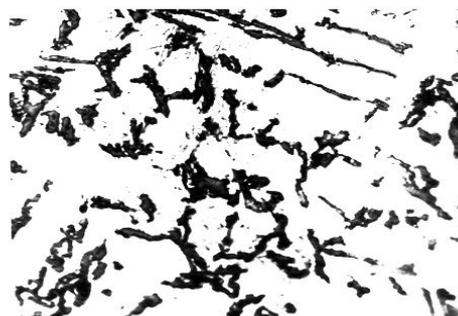
Отсутствие переохлаждения при первичной кристаллизации расплавов из ПГФ-возврата объясняется следующим. Расплавы из ПГФ-возврата достаточно микронеоднородны и содержат кластеры различных размеров. Образование зародышей в таком расплаве происходит значительно легче по сравнению с расплавами из К-возврата и ТВО-шихты.

Особое внимание заслуживает сплав АК12 из ПГФ-возврата. Этот сплав не имеет явного переохлаждения не при первичной, не при эвтектической кристаллизации, как и сплав АК7ч. Однако после перегиба на кривой охлаждения (при эвтектической кристаллизации) температура сплава незначительно (на 4-5 °С в течении 1...1,5 минут) плавно нарастает. Это может быть связано с невысокой ак-

тивностью существующих центров кристаллизации.



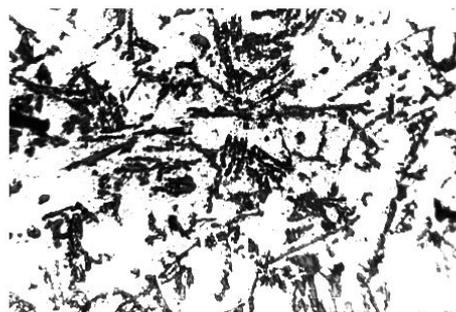
а



б



в



г



д



е

Рисунок – Микроструктура сплавов АК7ч и АК12, выплавленных из различной шихты: сплав АК7ч: а – из ПГФ-возврата; б – из К-возврата; в – из ТВО-шихты; сплав АК12: г – из ПГФ-возврата; д – из К-возврата; е – из ТВО-шихты.

Можно полагать, что центры кристаллизации при медленном охлаждении (так как заливка образцов для снятия кривых охлаждения производилась в песчано-глинистые формы) расплава имеют большие размеры. Поэтому выделяющейся теплоты кристаллизации (с учетом непрерывного охлаждения формой) недостаточно для подъема температуры в начальный период затвердевания. Постепенное

увеличение скорости затвердевания в течении 1...1,5 минут приводит в конце концов к подъему температуры до температуры солидус (эвтектической) сплава и процесс остается непрерывным до полного окончания затвердевания. То, что это явление обнаружено только у сплава эвтектического состава, связано, видимо, с особенностями эвтектической кристаллизации.

Интересно влияние на процесс кристаллизации сплавов применение ТВО-шихты. Согласно [7], степень высокотемпературного нагрева расплава не может не влиять на значение переохлаждения расплава и кинетику кристаллизации. В нашем случае влияние ТВО проявилось и после переплава. У рассматриваемых сплавов, выплавленных из ТВО-шихты, наблюдаются самые низкие температуры фазовых превращений и минимальное время полного затвердевания по сравнению со сплавами из ПГФ-возврата и К-возврата. Кроме того, у силуминов из ТВО-шихты на несколько градусов возрастает величина переохлаждения при первичной кристаллизации. Это связано с тем, что расплав из шихты с эффектом ТВО сравнительно однороден, поэтому образование центров кристаллизации может быть затруднено в начальный период затвердевания. Но в дальнейшем при понижении температуры (до температуры первичной кристаллизации) скорость образования кристаллов во всем объеме расплава, очевидно, достаточно высока. Поэтому переохлаждение у сплавов из ТВО-шихты максимально по сравнению с силуминами из К-возврата. Рост кристаллов из более однородного расплава сопровождается формированием совершенной кристаллической структуры, о чем свидетельствует исследование микроструктуры (рисунок).

То есть, более измельченная структура шихты (ТВО-шихта) предпочтительней для качества сплавов, чем использование К-возврата. Поэтому на конечную структуру шихты, помимо скорости охлаждения, влияет величина перегрева над линией ликвидус. Иначе говоря, специальная подготовка шихты с целью измельчения структуры с использованием обычного перегрева расплава (100-150 °С и заливка в кокиль) имеет ограниченные возможности, определяемые величиной перегрева. Для получения существенного измельчения шихты необходим перегрев расплава за пределы области микрогетерогенности, которые для разных сплавов имеют различные значения, но в среднем для алюминиевых сплавов эти температуры составляют 350-550 °С над линией ликвидус [4]. В нашем случае этим требованиям удовлетворяет шихта, подвергнутая ТВО в жидком состоянии по оптимальным режимам и затем залитая в кокиль. Полученная структура шихты после ТВО наследуется через расплав и, как это видно из таблиц 1, 2 и рисунка, существенно влияет на процесс кристаллизации. Таким образом, разница в кривых охлаждения

сплавов из ПГФ-возврата, К-возврата, ТВО-шихты при всех прочих равных технологических факторах позволяет утверждать, что ТВО-шихта, также как и К-возврат, только в большей степени, оказывает на кристаллизацию сплавов действие, аналогичное модифицированию. Металлографические исследования подтверждают этот вывод. Из рисунка отчетливо видно, что структурная наследственность шихты сохраняется после переплава.

В производственных условиях была опробована технология получения отливки «корпус» из сплава АК7ч, работающей в условиях повышенной гидропрочности. Анализировались два варианта изготовления отливок: применяемый (шихта: 20 % – первичные материалы, остальное – лом, возврат производства; рафинирование гексахлорэтаном) и предлагаемый (предварительное изготовление ТВО-шихты из лома и возврата производства, использование этого шихтового переплава при плавке в количестве 20-25 %, рафинирование расплава гексахлорэтаном). Температуры заливки были одинаковыми. Всего было проведено 8 плавов варианта технологии с использованием ТВО-шихты. Для анализа использовались статистические данные по 30 плавкам применяемой до этого технологии изготовления отливок. Режимы ТВО были следующими: температура ТВО – 980-1000 °С; время выдержки при ТВО – 13-15 минут. Сравнение свойств отливок, полученных по этим двум вариантам, показал, что при использовании в общей шихтовке ТВО-шихты в количестве 20-25 % герметичность отливок (по критерию гидропрочности) в среднем увеличилась со 125 до 138 МПа (прирост около 10 %), предел прочности на растяжение образцов, вырезанных из тела отливки, увеличился со 170 до 190 МПа (прирост около 12 %).

Выводы:

1. Показано, что структура расплава, унаследованная от шихты, оказывает влияние на процесс кристаллизации силуминов доэвтектического и эвтектического составов.

2. Применение ТВО-шихты и К-возврата позволяет ускорить процесс кристаллизации сплавов АК7ч и АК12 с получением более совершенной структуры. Время затвердевания образцов, полученных из К-возврата, в среднем на 4-5 % меньше, а образцов из ТВО-шихты на 10-12 % меньше, чем у образцов из ПГФ-возврата.

3. Является целесообразным изготавливать шихтовые переплавы с мелкозернистым строе-

нием структуры (ТВО-шихта) из низкосортных материалов и затем использовать для получения литых изделий.

4. Использование ТВО для предварительной обработки шихтовых материалов позволяет повысить уровень герметичности и механических свойств сплавов в отливках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ершов Г.С. Микронеоднородность металлов и сплавов / Г.С. Ершов, Л.А. Позняк. – М.: Металлургия, 1985. – 215 с.

2. Явления структурной наследственности с точки зрения коллоидной модели микронеоднородного строения металлических расплавов / П.С. Попель, О.А. Чикова, И.Г. Бродова, В.В. Макеев // Цветные металлы. – 1992. – № 9. – С. 54-56.

3. Пригунова А.Г. Наследственное влияние расплава на структуру и свойства силуминов /

А.Г. Пригунова, С.С. Петров // Цветные металлы. – 1992. – №9. – С. 59-63.

4. Никитин В.И. Наследственность в литых сплавах / В.И. Никитин. – Самара: СамГТУ, 1995. – 249 с.

5. Никитин В.И. Управление структурной наследственностью в литых сплавах / В.И. Никитин // Наследственность в литых сплавах: Тез. докл. V Науч. техн. конф. – Самара: СамГТУ, 1993. – С. 6-12.

6. Шуварикова Е.П. Получение мелкозернистой структуры в алюминиевых слитках / Е.П. Шуварикова // Литейное производство. – 1999. – № 11. – С. 29.

7. Губенко А.Я. Влияние исходного структурного состояния расплава на свойства сплавов / А.Я. Губенко // Литейное производство. – 1991. – №4. – С. 19-20.

УДК 621.746

В.Б. Деев, А.П. Войтков, И.Ф. Селянин

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

К ИССЛЕДОВАНИЮ ПРЕДУСАДОЧНОГО РАСШИРЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Исследовано предусадочное расширение сплава АК7ч, полученного из шихт, имеющих различную наследственность. Показано, что использование при плавке шихты с более мелкозернистым строением структуры (кокильный возврат отливок, кокильный возврат с эффектом термовременной обработки) позволяет получить минимальное предусадочное расширение при кристаллизации, сопровождающееся минимальным баллом пористости и минимальным временем полного затвердевания.

Исследование усадки, как одного из главных свойств сплавов, проявляющегося при их кристаллизации и охлаждении после затвердевания, требует особого внимания при производстве качественных отливок. Началу линейной усадки, как правило, предшествует предусадочное расширение сплавов, которое выражается в увеличении линейных размеров отливок в процессе кристаллизации. Предусадочное расширение оказывает существенное влияние на технологические и механические свойства сплавов [1]. Раскрытие природы этого

явления позволит управлять технологическими процессами с целью повышения качества литья.

Бочвар А.А. с сотрудниками считали определяющим фактором предусадочного расширения выделение газов и увеличение удельного объема во время фазовых превращений [2]. В работе [3] предусадочное расширение связывали с кристаллизационным давлением и тепловым расширением твердой корочки отливки под действием тепла внутренних слоев жидкого металла. Корольков Г.А. рассматривал пре-

дусадочное расширение в связи с газовыделением, фазовыми превращениями, капиллярными явлениями и в итоге, со смещением дендритов жидкостью, питающей объемную усадку [4, 5].

Несомненно, несмотря на различные механизмы описания процесса предусадочного расширения, оно в той или иной мере зависит от таких факторов, как условия кристаллизации сплава и содержание водорода в расплаве перед заливкой. Газосодержание расплава, определяется, в свою очередь, технологией его плавки и обработки, и соответственно, качеством используемых шихтовых материалов.

Известно [6], что шихта может оказать наследственное влияние на свойства полученных из нее сплавов. Данные, показывающие влияние шихты на предусадочное расширение сплавов, практически отсутствуют в научной литературе.

В данной работе представлены результаты исследований наследственного влияния шихты на предусадочное расширение в процессе кристаллизации сплава АК7ч. Для исследований использовали три вида шихты с различной наследственностью: 1 – ПГФ-возврат, на 100 % состоящий из возврата отливок, залитых в песчано-глинистые формы; 2 – К-возврат, на 100 % состоящий из возврата отливок, залитых в кокили; 3 – ТВО-шихту, состоящую на 100 % из подвергнутого термовременной обработке (ТВО) по оптимальным режимам ($T_{\text{ТВО}}=990-1000$ °С, $\tau_{\text{ТВО}}=20$ минут), обработанного гексахлорэтаном в количестве 0,8 % и залитого в кокиль ПГФ-возврата. Полученная ТВО-шихта была самой чистой по газовым и неметаллическим включениям и имела самое мелкозернистое строение структуры. Все шихтовые перепавы имели химический состав исследуемых сплавов. Плавки проводили по обычной технологии в печи ИСТ-0,06 с использованием графитовых тиглей. Расплавы обрабатывали флюсом состава 62 % NaCl, 13 % KCl, 25 % NaF. Заливка опытных образцов осуществлялась при температуре 720-730 °С. Предусадочные и усадочные кривые сплавов в координатах «температура-усадка», а также температурные кривые охлаждения в координатных «температура-время» исследовали на цилиндрических образцах диам. 30 мм, залитых в песчано-глинистые формы, на специальной установке, состоящей из двухкоординатных потенциометров, датчика малых перемещений и хромель-алюмелевых (ХА)-термопар. Термопары

устанавливали в полость формы по оси образцов. Отвод тепла от образцов из различной шихты осуществлялся через одну и ту же песчано-глинистую форму с определенной теплопроводностью, влияние которой, независимо от каждого отдельного случая, носило постоянный характер. При одинаковых условиях охлаждения образцов из различной шихты температурные кривые отражали изменения, происходящие в процессе затвердевания залитых в форму образцов в зависимости от используемой шихты. Для определения содержания водорода в сплавах применяли метод вакуум-нагрева.

На рисунке представлены температурные кривые усадки сплавов АК7ч, выплавленных из ПГФ-возврата, К-возврата и ТВО-шихты. Из этих зависимостей видно, что все образцы имеют предусадочное расширение. Обращает на себя внимание то, что величина предусадочного расширения у сплава из К-возврата меньше, чем у сплава из ПГФ-возврата. А сплав из ТВО-шихты имеет самую минимальную величину предусадочного расширения по сравнению с сплавами, выплавленными из ПГФ-возврата и К-возврата. В таблице 1 представлены данные, полученные при совместном изучении предусадочных кривых и кривых охлаждения сплава АК7ч в зависимости от типа используемой шихты, а также другие свойства сплавов.

У сплавов из ПГФ-возврата и К-возврата предусадочное расширение начинается при 594-596 °С, у сплава из ТВО-шихты – при 615 °С. Таким образом, предусадочное расширение сплава АК7ч независимо от типа шихты началось в интервале ликвидус-солидус.

Линейная усадка у сплава из всех трех типов шихты начиналась при температуре эвтектической кристаллизации (576-577 °С).

Величина предусадочного расширения у сплава из ТВО-шихты в 1,37 раза и в 1,62 раза меньше, чем величина расширения сплавов из К-возврата и ПГФ-возврата соответственно. Этот факт можно объяснить следующими положениями.

Так как применение ТВО-шихты дает максимальное переохлаждение (таблица) и наибольшую скорость кристаллизации (согласно температурным кривым охлаждения), то большая часть газа остается в затвердевшем сплаве.

Таблица – Параметры кристаллизационно-усадочного процесса сплава АК7ч (средние данные по трем плавкам для каждого исследуемого варианта)

Тип шихты	Балл пористости (по пятибалльной шкале)	Величина предусадочного расширения, % (среднее по трем измерениям каждого эксперимента)	Температура начала предусадочного расширения, °С (среднее по трем измерениям каждого эксперимента)	Момент начала линейной усадки относительно эвтектической кристаллизации (э.к.)	Полное время затвердевания мин.	Величина переохлаждения при ΔT_{α}^* / $\Delta T_{\alpha+\beta}^{**}$, °С	Среднее газосодержание в сплавах, см ³ / 100 г
ПГФ-возврат	4-5	0,084	596	в начале э.к.	6,91	- / -	0,91
К-возврат	2-3	0,071	594	в середине э.к.	6,55	3 / 4	0,49
ТВО-шихта	2-3	0,052	615	в конце э.к.	6,04	7 / 4	0,42

* первичной кристаллизации.
** эвтектической кристаллизации.

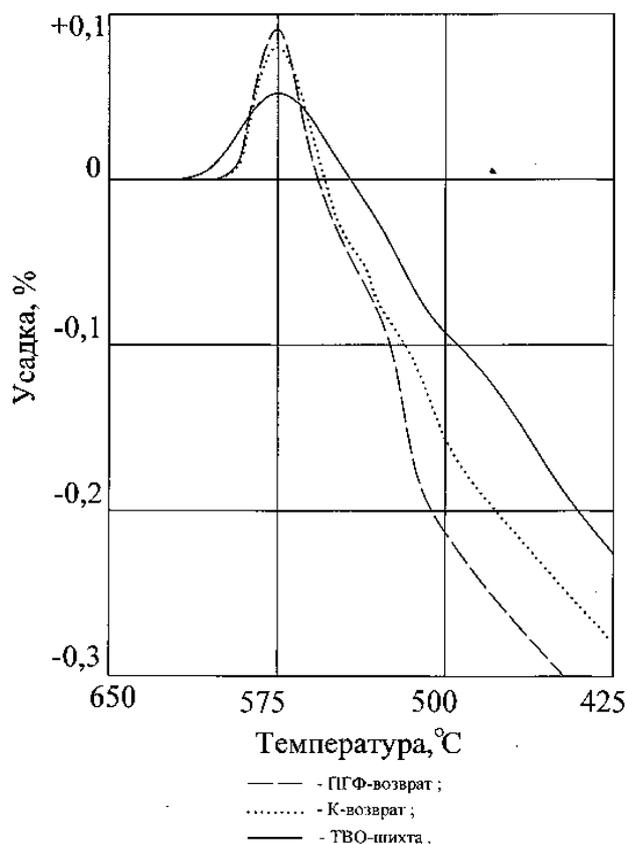


Рисунок – Температурные кривые усадки сплава АК7ч, выплавленного из шихты с различной наследственностью

Следовательно, и предусадочное расширение у сплавов, приготовленных по этой технологии, будет минимальным (таблица 1). Это заключение подтверждается данными по газонасыщенности образцов и полному времени затвердевания. Использование ПГФ-возврата дает минимальное переохлаждение при кристаллизации (или полное его отсутствие, как в нашем случае – так как шихта достаточно «грязная» по газовым и неметаллическим

включениям, расплав из нее содержит большое количество микрон неоднородностей различного размера и состава, и в результате процесс образования зародышей кристаллизации происходит без затруднений), максимальное газосодержание твердых образцов, максимальное время затвердевания и максимальное предусадочное расширение (таблица 1). Сплав из К-возврата также, как и ТВО-шихта, имеет переохлаждение как при пер-

вичной, так и при эвтектической кристаллизации. Полное время затвердевания образцов из К-возврата занимает по величине промежуточное значение между образцами, выплавленными из ПГФ-возврата и ТВО-шихты. На основании этого можно сказать, что предсудочное расширение силуминов имеет сложный механизм и зависит не только от газосодержания шихты и, соответственно, расплава перед заливкой, но и от масштабов элементов структуры расплава (ЭСР) в расплаве, унаследованных от шихты.

Одним из основных дефектов в отливках из алюминиево-кремниевых сплавов, проявляющихся при кристаллизации, является пористость. Пористость может быть газовой, усадочной и газоусадочной. Любой вид пористости приводит к уменьшению эффективного сечения отливки и, следовательно, снижению технологических и механических свойств литого металла. Газовая пористость, образуется, главным образом, при затвердевании отливок из сплавов, кристаллизующихся в узком интервале температур. Усадочная и газоусадочная пористости образуются в отливках из сплавов с широким интервалом кристаллизации. Однако реальная пористость всегда имеет смешанный газоусадочный характер [7]. Газоусадочный характер пористости объясняется тем, что процессы газовыделения и образования усадочных дефектов в большей или меньшей степени совпадают по времени. На развитие газоусадочной пористости влияет газосодержание в расплаве перед заливкой. В свою очередь, газосодержание расплава в значительной мере определяется газосодержанием применяемой шихты [6].

У сплавов системы Al-Si количество водорода, приобретенное расплавом из шихты и в процессе расплавления шихты, обычно намного превышает значение равновесной растворимости при температуре ликвидуса. Следовательно, газовыделение при затвердевании отливок из алюминиево-кремниевых сплавов происходит уже в процессе охлаждения жидкого металла, то есть в результате развития предсудочного расширения.

Наряду с газосодержанием шихты, являющимся одним из основных факторов, определяющих газосодержание залитого в форму расплава, большое влияние на склонность алюминиевых сплавов к образованию газоусадочной пористости оказывает способность сплава удерживать водород в пересыщенном твердом растворе во время кристаллизации.

Эта способность зависит от концентрации легирующего элемента. Так, силумины, кристаллизующиеся в интервале температур, в меньшей степени удерживают водород в пересыщенном твердом растворе и обнаруживают большую предрасположенность к образованию газоусадочной пористости, чем сплавы, близкие к эвтектике, при одинаковых условиях охлаждения [7].

Максимальный балл пористости в исследуемых сплавах имели образцы из ПГФ-возврата. Это связано с тем, что возникающая в процессе кристаллизации газоусадочная пористость дает максимальное предсудочное расширение (таблица 1), что, в свою очередь, объясняется повышенным в расплаве газосодержанием, «унаследованным» от шихты. Повышенная склонность к пористости сплава из ПГФ-возврата связана с тем, что вследствие объемной кристаллизации в участках жидкого металла, расположенных между ветвями дендритов, возникают усадочные поры, что облегчает условия выделения пузырьков водорода. Образующиеся пузырьки газа препятствуют питанию жидким сплавом этих участков. Вследствии этого значительно облегчается диффузионное выделение водорода из металла непосредственно во время кристаллизации, и поэтому сплав из ПГФ-возврата склонен к пористости.

Сплав из ПГФ-возврата также имеет большую продолжительность кристаллизации. При совмещении кривых усадки с кривыми охлаждения в координаты «температура-время-усадка» можно выяснить следующее: усадка сплава из ТВО-шихты начинается в конце эвтектической кристаллизации, сплава из К-возврата – в середине эвтектической кристаллизации, сплава из ПГФ-возврата – в начале эвтектической кристаллизации. Таким образом, усадка сплава из ПГФ-возврата начинается существенно раньше, чем у сплавов из К-возврата и ТВО-шихты, когда еще существует достаточно много жидких прослоек в затвердевающем сплаве – в результате возникновения в них усадочных пор в них концентрируются пузырьки водорода из жидкой части.

Различие во времени начала усадки сплавов из различной шихты с позиции теории наследственности можно объяснить тем, что эти сплавы в жидком состоянии перед заливкой имеют различные по размерам микронеоднородности (кластеры и другие дисперсные частицы). Очевидно, эти микронеоднородно-

сти в расплавах из ПГФ-возврата быстрее достигают необходимого для образования зародышей кристаллизации размеров по сравнению с микронеоднородностями в расплавах из К-возврата и ТВО-шихты.

Таким образом, проявление пористости в силуминах тесно связано с влиянием предусадочного расширения и полным временем затвердевания, которое, в свою очередь, определяется структурой шихты.

На основании полученных данных по сплаву из ПГФ-возврата можно заключить, что предусадочное расширение не компенсирует последующую линейную усадку (рисунок 1). Возможно, данная компенсация, как указывают некоторые исследователи, имеет место лишь при каких-то определенных условиях.

Выводы: Выявлено, что структура шихты оказывает наследственное влияние на величину предусадочного расширения силуминов. Силумины при использовании К-возврата и ТВО-шихты имеют наиболее благоприятные условия затвердевания, обеспечивающие получение более плотной структуры по сравнению с использованием шихты, состоящей из ПГФ-возврата. Безусловно, полностью использовать в реальных производственных условиях шихту, состоящую на 100 % из К-возврата и тем более, из ТВО-шихты, невозможно. Однако добавка данных шихт к основной шихте уже в количестве 10-15 % (что было проверено авторами экспериментально на сплавах АК7ч, АК9ч, АК12) позволяет ин-

тенсифицировать усадочные процессы и значительно улучшить качество получаемых сплавов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корольков А.М. Литейные свойства металлов и сплавов / А.М. Корольков – М.: АН СССР, 1960. – 196 с.

2. Бочвар А.А. К вопросу о расширении некоторых сплавов при кристаллизации / А.А. Бочвар, З.А. Свицерская, Е.К. Корбут // Известия АН СССР. ОТН. – 1947. – №4. – С. 409-417.

3. Балинский В.Р. О причинах предусадочного расширения в отливках / В.Р. Балинский, В.П. Чернобровкин // Усадочные процессы в сплавах и отливках. – Киев: Наукова Думка, 1970. – С. 197-199.

4. Корольков Г.А. Об одной из причин предусадочного расширения / Г.А. Корольков // Усадочные процессы в сплавах и отливках. – Киев: Наукова Думка, 1970. – С. 253-257.

5. Корольков Г.А. Механизм предусадочного расширения при кристаллизации сплавов / Г.А. Корольков, Г.М. Кузнецов // Литейное производство. – 1990. – №6. – С. 5-7.

6. Никитин В.И. Наследственность в литых сплавах / В.И. Никитин. – Самара.: СамГТУ, 1995. – 249 с.

7. Гудченко А.П. Склонность алюминиевых сплавов к образованию газоусадочной пористости / А.П. Гудченко // Литейные свойства сплавов: Труды первого совещания. – Киев. – 1968. – Ч. 2. – С. 74-81.

В.В. Орлов

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

ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ФУТЕРОВОК СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ НА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

В статье рассмотрены особенности внедрения новых футеровок сталеразливочных ковшей на российских металлургических предприятиях. Систематизированы и критически проанализированы сведения по перспективным составам огнеупорных бетонов, их влиянию на свойства, футеровок сталеразливочных ковшей, даны рекомендации по выбору и применению.

Широкое внедрение ковшевой металлургии на отечественных предприятиях повлекло за собой существенные изменения в конструкциях футеровок сталеразливочных ковшей и применяемых для ее изготовления материалов. В настоящее время предприятия внедрившие ковшевую металлургию либо непрерывную разливку стали стремятся к «комбинированной» схеме футеровки сталеразливочных ковшей, которая подразумевает монолитную рабочую футеровку днища и стенок ковша и шлаковый пояс из периклазоуглеродистых штучных огнеупоров. Такое движение обусловлено тем, что ремонт и сооружение монолитной футеровки гораздо менее продолжителен, и затратен, как с точки зрения материалоемкости, так и труда огнеупорщиков.

Внедрение «комбинированной» схемы – целый комплекс мероприятий, который включает в себя приобретение: шаблонов, оборудования для заливки бетона и торкретирования как на горячую так и на холодную поверхность; необходимого количества стенов для сушки футеровки, способных в автоматическом режиме высушить ковш по заданной программе, при этом контроль температуры поверхности в процессе сушки должен обеспечивать точность $\pm 20^\circ\text{C}$, а также разработку технологий заливки, сушки, эксплуатации и ремонта монолитных футеровок и жесткий контроль за их соблюдением.

Как показывает практика, соблюдение технологии изготовления футеровки влияет на стойкость в наибольшей степени. Так при эксплуатации наливных днищ выяснилось, что излишняя добавка воды в смесь приводит

к большому трещинообразованию в процессе службы. Превышение температуры поверхности монолита при холодном ремонте (подливке) приводит к скалыванию подливки от основного массива бетона. Кроме того, при сушке ковша с монолитным дном и новыми стенами из периклазоуглеродистых огнеупоров на пековой связке, выяснилось, что тепловизоры (предназначены для измерения температур) установленные в крышке стенда покрываются слоем сажи. Это приводит к сбоям в работе стенов и необходимости производить сушку в ручном режиме, что приводит к нарушению температурного режима.

В некоторых случаях переход на «комбинированную» футеровку представляет собой подражание зарубежным предприятиям с аналогичной технологией выплавки, обработки и разливки стали. Однако, каждое металлургическое предприятие строго индивидуально и в 90 % случаев по причине отсутствия необходимого оборудования для тепловой обработки (стенов), несовершенства режимов сушки и разогрева для выбранного огнеупорного бетона, внедрение «комбинированной» футеровки заканчивается применением наливных днищ, при этом стенов продолжают выкладывать из штучных огнеупоров.

Для того чтобы выбор бетона был осознанным необходимо знать зависимости его эксплуатационных характеристик и свойств от состава смеси, приведем некоторые из них [1–9].

В настоящее время весьма перспективным для изготовления глиноземошпинельных бетонов является использование в качестве заполнителей плавленных или спеченных глинозёмов, при этом тонкодисперсные состав-

ляющие представлены шпинелью, реактивным Al_2O_3 и высокоглиноземистым цементом. Глиноземомагнезиальные бетоны состоят из тех же компонентов, кроме шпинели, вместо которой применяется MgO . Кроме того, существуют гибридные бетоны, в состав которых входит как шпинель так и периклаз (MgO).

Шпинель – $MgO - Al_2O_3$ применяется для повышения шлакоустойчивости бетона. Крупнозернистая шпинель способствует снижению коррозионного разрушения бетона. Мелкозернистая шпинель способствует уменьшению глубины проникновения шлака в огнеупор. Так как в большинстве случаев в процессе эксплуатации огнеупорных бетонов в футеровках сталеразливочных ковшей происходит откалывание слоя пропитанного шлаком от основного массива, то увеличение сопротивляемости проникновению ведет к существенному уменьшению общего износа.

Периклаз – необходим для повышения стойкости к проникновению шлака. Особенностью периклаза является то, что в процессе разогрева он реагирует с корундовым наполнителем (белый либо бурый корунд) с образованием шпинели $MgO - Al_2O_3$. Этот процесс сопровождается изменением линейных размеров монолитной футеровки, а именно, расширением на 1-1,5 %. Порошки периклаза содержат значительные количества CaO , SiO_2 , V_2O_5 , что способствует образованию шпинели при меньших температурах. Значительная часть MgO реагирует с Al_2O_3 образуя шпинель. Оставшиеся CaO , SiO_2 , V_2O_5 реагируют с Al_2O_3 и MgO с образованием жидкой фазы. Для увеличения устойчивости к гидратации в бетонные смеси вводят добавку тонкодисперсного кремнезема, поэтому глиноземомагнезиальные бетоны содержат значительное количество жидкой фазы при высоких температурах. Этот факт объясняет, почему предел прочности при изгибе глиноземомагнезиальных бетонов значительно ниже, чем у глиноземошпинельных материалов при температуре выше $1300\text{ }^\circ\text{C}$, и, кроме того, термическое расширение под нагрузкой (0,2 МПа) глиноземомагнезиальных бетонов отрицательно, в то время как у глиноземошпинельных положительно. Добавка крупнозернистого периклаза не приводит к уменьшению коррозии и глубины проникновения шлака. В то же время, добавка тонко молотого периклаза способствует образованию мелких зерен вторичной шпинели (образуется в ходе эксплуатации огнеупора а не входит в состав исходной сме-

си) равномерно распределенных по объему огнеупора. Так как зерна вторичной шпинели гораздо мельче чем молотой, то стойкость к проникновению шлака глиноземомагнезиальных бетонов гораздо выше по сравнению с глиноземошпинельными.

Количество шпинели и периклаза выбирается с таким расчетом, чтобы количество магнезии не превышало 5 – 5,5 %.

Активированный глинозем – применяется в качестве связки для огнеупорных бетонов. Не содержит CaO вследствие чего повышается устойчивость к коррозии. Однако, если полностью заменить глиноземистый цемент этой связкой, бетон будет иметь низкую прочность и термостойкость. На основании экспериментальных данных полученных фирмой «Yotai Refractories» можно считать, что оптимальной связкой является комбинация активированного глинозема и глиноземистого цемента (2 % от общей массы сухой смеси – активированный глинозем, 2 % – глиноземистый цемент).

Глиноземистый цемент – применяется в качестве связки для огнеупорных бетонов, содержит 80 % Al_2O_3 и 17 % CaO . Содержит оксид кальция, по этому влияет на коррозионную стойкость и стойкость к проникновению шлака. Устойчивость к проникновению шлака увеличивается с повышением содержания цемента от 4 до 12 % и выравнивается при 12 – 16 % цемента, при этом устойчивость к эрозии имеет тенденцию к снижению с ростом содержания цемента. Оптимальным является содержание цемента на уровне 6 – 8 %, но наиболее предпочтительным является сочетание активированного глинозема и глиноземистого цемента.

Тонкодисперсный кремнезем. Добавка 0 – 2 % не подавляет проникновение шлака и не улучшает устойчивость к структурному растрескиванию. Предел прочности на изгиб при высокой температуре ($1500\text{ }^\circ\text{C}$) возрастает при величине добавки до 0,1 % далее идет резкое снижение и при величине добавки 0,5 % падает с 14 до 2 МПа. Но даже если кремнезем не вводить вообще, то он все равно будет присутствовать, как составляющая компонентов сухой смеси (бурый плавленный корунд, периклаз и тд.).

Органические волокна добавляют в количестве до 0,1 % для предотвращения растрескивания в процессе сушки.

Дефлокулянты необходимы для придания текучести готовой бетонной смеси, величина добавки не превышает 0,1 %.

Добавка 0,003 – 0,005 % Li_2CO_3 ускоряет отверждение, однако, относиться к ней необходимо весьма осторожно, так как малейшая ошибка может привести к, практически, мгновенному отверждению бетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mitsuo Satou, Takashi Miki. Improvement of steel ladle refractories at Kashima steel works // SEAJSI Quarterly. – 2003. – 32. №4. –P. 29 – 36.

2. Bugajski M., Lueftenegger A.. Hot repair dry alumina mixes for steel ladle // Proceedings of UNITECR 2003 Congress. Osaka, Japan. P. 673 – 676.

3. Kinoshita S., Fukunaga M.. Extension of campaign life in 140 ton LF ladle // Proceedings of UNITECR 2003 Congress. Osaka, Japan. P. 681 – 683.

4. Jiangwen Huang, Baikuan Liu, Suzhen Huo. Development and application of ladle's lin-

ings for HP/UHP EAF // Proceedings of UNITECR 2003 Congress. Osaka, Japan. P. 662 – 665.

5. Katsube Y., Okita K., Tahara M.. Maintenance technologies for ladle furnace // Journal of the Technical association of refractories, Japan. – 2003. – 23. – P. 179 – 184.

6. Изучение связей для бетонов в футеровке ковшей для дуговых печей // Новости черной металлургии за рубежом. – 2004. – №1. – С.75-76.

7. Коррозионная стойкость глиноземистых бетонов для ковшей // Новости черной металлургии за рубежом. – 2004. – №1. – С.77-78.

8. Полонский М. Г. Применение глиноземошпинельных и глиноземомагнезиальных бетонов в футеровках сталеразливочных ковшей // Огнеупоры и техническая керамика. – 2003. – №3. – С.33-38.

9. Разработка шпинельнопериклазового бетона для сталеразливочных ковшей // Новости черной металлургии за рубежом. – 2002. – №4. – С.109-110.

ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 628.511.122:53:54:669.168.3.002+669.782

О.А. Полях, Г.В. Галевский, Н.Ф. Якушевич

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

АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА

Предложена балансовая схема образования монооксида кремния на основе исследования физико-химических взаимодействий в рудно-термических печах при плавке кремния и ферросплавов и проведен анализ процессов, обуславливающих образование микрокремнезема при производстве ферросилиция.

Проведена комплексная физико-химическая аттестация микрокремнезема, образующегося при производстве кремния (ОАО «Братский завод ферросплавов») и высококремнистых сплавов (ОАО «Кузнецкие ферросплавы»), включающая определение фазового и химического состава, дисперсности и морфологии частиц.

Микрокремнезем, образующийся при производстве кремния и ферросплавов, характеризуется высоким содержанием диоксида кремния, дисперсностью, низкой стоимостью и доступностью и, вследствие этого, может быть использован в качестве сырья технологических процессов. Большое содержание примесей в микрокремнеземе предопределяет незначительное его применение, но тем не менее эти вопросы не теряют своей актуальности из-за возможности исключения стадии диспергирования исходных материалов, часто являющейся трудной технологической задачей, и снижения себестоимости целевого продукта.

В настоящее время физико-химическая оценка микрокремнезема обычно имеет прикладной характер по отношению к традиционным областям его использования (строительной, огнеупорной) и производится, в основном, по химическому составу и дисперсности, а изучению таких характеристик как, например, фазовый состав практически не уделяется внимания. Немногочисленны исследования, направленные на аттестацию микрокремнезема, образующегося при производстве кремния, хотя по химическому составу он представляет больший интерес как воз-

можный сырьевой материал технологических процессов. Проблема влияния на свойства микрокремнезема, а тем более их регулирования без ухудшения качества основной продукции, особенностей технологического процесса и используемых материалов, лишь выносится как тема для обсуждения, но не изучена в достаточном объеме. Крайне незначительно исследованы и представлены в литературных источниках процессы образования микрокремнезема.

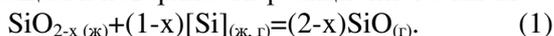
Согласно принятым представлениям, источником микрокремнезема является часть монооксида кремния, не прореагировавшего с углеродом или не сконденсировавшегося на более холодной шихте, которая выносится газами в низкотемпературные области. Более глубокое исследование механизма образования микрокремнезема на основе диаграммы фазовых равновесий Si-O-C проведено лишь в работе [1], согласно которой, процессы распада газовой фазы, выносимой из зоны высоких температур, начинаются в среднетемпературной зоне печи и определяются условиями равновесия фаз метастабильной части диаграммы и условиями охлаждения газа. Однако термодинамические и кинетические данные по восстановлению диоксида кремния углеро-

дом [2], разработанные подробные схемы физико-химических взаимодействий в рудно-термических печах при выплавке кремния и ферросилиция [3, 4] позволяют предложить более полную и достоверную балансовую схему образования монооксида кремния (рисунки 1) и охарактеризовать механизм образования микрокремнезема как сложный многоканальный процесс [5].

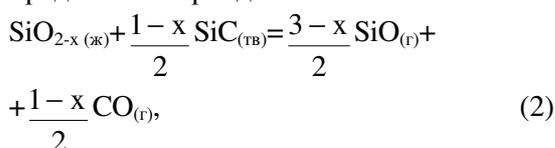
Физико-химические взаимодействия, обуславливающие образование микрокремнезема при производстве ферросилиция, можно разделить на три группы:

- образование монооксида кремния (на схеме – процессы, протекающие в температурных зонах I-IV);
- конденсация монооксида кремния в печи с образованием целевых продуктов (на схеме – процессы V-VII, А);
- образование микрокремнезема при конденсации монооксида кремния в низкотемпературных зонах (процессы Б), при окислении в случае реализации плавки в открытых печах (В) и при механическом уносе мелких фракций шихты (Г).

При наличии в ванне печи жидкого ферросилиция основное количество монооксида кремния образуется в высокотемпературной зоне (I) за счет взаимодействия кремния с кремнекислородной жидкостью в слое, прилегающем к поверхности реакционного тигля:



Часть монооксида кремния образуется в результате контактных взаимодействий между кремнекислородной жидкостью и твердым углеродом или карбидом:



Эти процессы получают приоритетное развитие в случае отсутствия в печи жидкого ферросилиция (в момент пуска печи, после выпуска сплава), а также при переходе в области более умеренных температур (II, III). При температуре 1500-1800 К (IV) возможно твердофазное контактное взаимодействие кварцита и кокса с образованием монооксида кремния:



При использовании крупнокусковой шихты степень развития этого процесса незначительна вследствие небольшого объема контактирующих масс, а также по причине очень малой равновесной концентрации монооксида кремния в газовой фазе. Очевидно, что при использовании тонкоизмельченных, хорошо перемешанных и окускованных материалов, степень развития взаимодействия (4) будет увеличиваться.

Таким образом, основная масса монооксида кремния образуется в высокотемпературной зоне (I), преимущественно по реакциям (1), (2), причем взаимодействие (1) имеет тем большее развитие, чем больше содержание кремния в сплаве. На поверхности реакционного тигля достигаются и наиболее высокие концентрации монооксида кремния, близкие к равновесным, так как только в этой зоне одновременно протекают процессы образования газовой фазы и конденсации жидкофазных и твердофазных продуктов.

Во всех остальных температурных зонах, процессы образования монооксида кремния и его конденсации протекают в неравновесных условиях. На поверхности реакционного тигля и прилегающих к ней слоев магмы (V) возможны реакции взаимодействия монооксида кремния с карбидом с образованием жидкого кремния:



При создании определенных условий (большое пересыщение по SiO) возможно метастабильное взаимодействие:

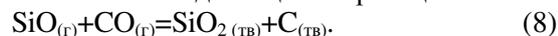


протекающее при температуре 1850-1900 К (VI).

В среднетемпературных горизонтах печи монооксид кремния взаимодействует с твердым углеродом с образованием карбида кремния (VII):



Согласно диаграмме фазовых равновесий системы Si-O-C [2], при понижении температуры равновесная концентрация монооксида кремния должна уменьшиться (от 0,65-0,76 до $2 \cdot 10^{-3}$ кПа при $P_{\text{общ}} = 101, 3$ кПа). При значительном пересыщении газовой фазы монооксидом кремния с понижением температуры возможна его конденсация по реакции:



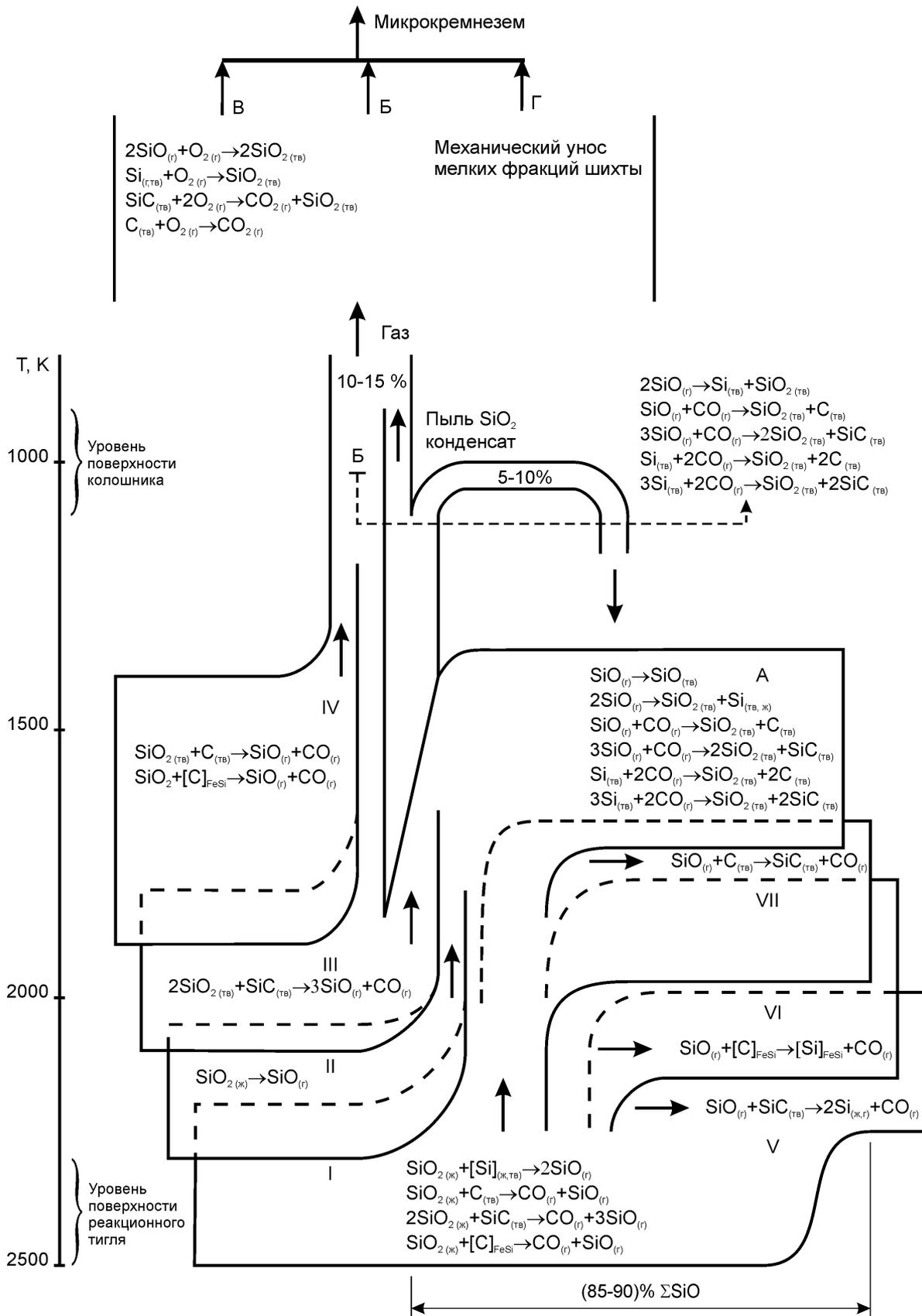
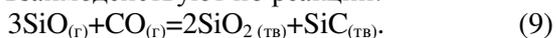
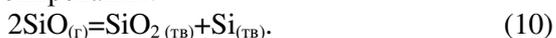


Рисунок 1 – Балансовая схема образования монооксида кремния в печах для плавки ферросилиция

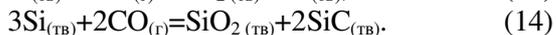
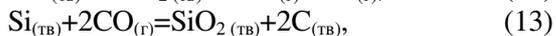
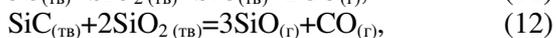
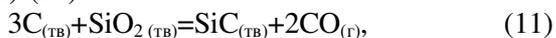
При пониженных температурах (1400-1800 К) монооксиды кремния и углерода взаимодействуют по реакции:



При температурах термодинамической нестабильности монооксида кремния (менее 1400 К) возможна также реакция диспропорционирования:

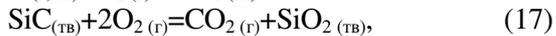
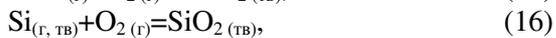
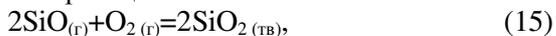


Процессы конденсации монооксида кремния по реакциям (8)-(10) в количественном отношении не имеют большого значения, так как, во-первых, скорость газового потока достаточно высока и время, за которое могут осуществляться конденсационные процессы, ограничено (примерно 0,1-0,2 с), во-вторых, большая часть монооксида кремния расходуется на образование кремния по реакции (5) и карбида по реакции (7). Часть конденсированных продуктов возвращается в процесс, оседая на поверхности кусков кварцита и кокса (5-10 %, процессы А), а часть покидает печь с отходящими газами в виде пыли (10-15 %, процессы Б-Г). Продукты реакций в дальнейшем могут взаимодействовать со всеми компонентами шихты, поэтому большая часть карбида и углерода возвращается в процесс, т.е. протекают вторичные реакции (4), (11)-(14):



При этом реакции с образованием карбида кремния могут протекать в неравновесных условиях (при пересыщении газовой фазы SiO).

В случае реализации процесса в открытых печах, на колошнике печи и в газоходах протекают реакции окисления:



Таким образом, можно выделить три возможных пути образования микрокремнезема (рисунок 2):

- образование микрокремнезема в самой печи в зоне температур 1400-1800 К (А, Б), связанное со взаимодействиями в газовой фазе монооксидов кремния и углерода. В печи может происходить диспропорционирование монооксида крем-

ния, протекающее в низкотемпературных зонах при резком понижении температуры газовой фазы и концентрации SiO. При очень высоких скоростях охлаждения газовой фазы (закалке) возможна также непосредственная конденсация монооксида кремния. Значительная часть микрокремнезема, образовавшегося на этом этапе, возвращается в процесс;

- образование микрокремнезема в результате реакций окисления на колошнике (15)-(19), протекающих, в основном, в открытых печах (В). Концентрация карбида кремния, кремния и углерода, вследствие развития указанных взаимодействий, а также вторичных реакций (11)-(14), в пылевых выбросах невелика, и микрокремнезем состоит, преимущественно, из диоксида кремния;
- образование микрокремнезема вследствие механического уноса мелких фракций шихты (Г).

Комплексная физико-химическая аттестация микрокремнезема, получаемого при выплавке кристаллического кремния Кр1 на ОАО «Братский завод ферросплавов» (МК-Кр) и микрокремнезема, получаемого при производстве высококремнистых ферросплавов ФС75 на ОАО «Кузнецкие ферросплавы» (МК-ФС), включала определение фазового и химического составов, удельной поверхности и морфологии частиц.

Фазовый состав микрокремнезема исследовался методами рентгенофазового, термogravиметрического и ИК-спектроскопического анализов. Были сняты рентгенограммы и термограммы исходного микрокремнезема, образцов после предварительного нагрева до 500 °С и до 1000 °С.

В результате проведения рентгенофазового анализа установлено, что в образцах микрокремнезема МК-Кр и МК-ФС кремнезем присутствует в виде скрытокристаллического β-кристобалита, что подтверждается размытым рефлексом в области $d/n = 4,07 \text{ \AA}$. Из кристаллических фаз выявлена только шпинель типа $\text{FeO}(\text{Al}_2\text{O}_3, \text{Cr}_2\text{O}_3)$, дающая слабый пик в области $d/n = 2,48 \text{ \AA}$ на дифрактограммах микрокремнезема МК-Кр. Рентгеноаморфное состояние микрокремнезема вызывает трудности при идентификации фаз, что отмечается, например, в [6].

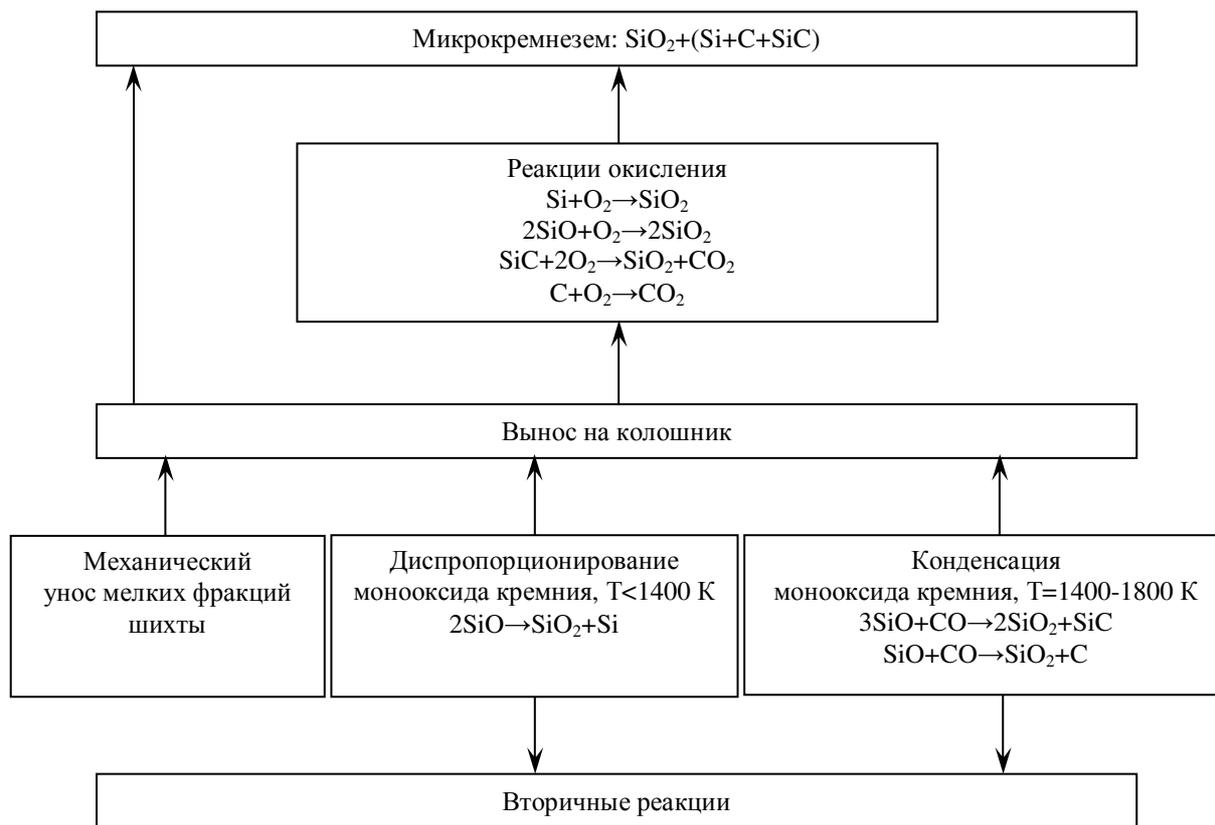


Рисунок 2 – Схема образования микрокремнезема

В связи с этим, для определения кристаллических составляющих в скрытокристаллической массе микрокремнезема проведено седиментационное отделение тяжелой фракции и отмагничивание магнитной фракции. Идентификация фаз осуществлялась по данным [7]. Установлено, что магнитная фракция микрокремнезема МК-ФС состоит из кристаллического кремния, магнетита, гематита, обнаружены следы α -кварца и α - β -карбида кремния.

Предполагается, что в магнетите возможно изоморфное замещение ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} на Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+} , $\text{Ti}^{2+,3+}$, $\text{Mg}^{2+,3+}$. В немагнитной фракции идентифицированы силикаты типа α - CaSiO_3 , $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$, $\text{Ca}(\text{Mg,Fe})_3(\text{SiO}_3)_4$ и карбид кремния. Фазовый состав магнитной фракции микрокремнезема МК-Кр не определялся ввиду ее крайне малого содержания в образце. Однако идентичность термограмм микрокремнезема обоих видов позволяет предположить и в микрокремнеземе, образующемся при производстве кремния, присутствие оксидов железа; а идентичность ИК-спектров - наличие кальциевых силикатов. В

результате рентгенофазового анализа тяжелой фракции, выделенной из микрокремнезема МК-Кр, идентифицированы следующие кристаллические составляющие: α -кварц, карбид кремния, силикат типа $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$. Тяжелая фракция, выделенная из микрокремнезема МК-ФС, содержит небольшое количество кристаллической фазы, определен только карбид кремния.

Кривые ДТА образцов микрокремнезема, образующегося при производстве кремния и ферросилиция, снятые на воздухе в интервале температур 20-1000 °С, практически идентичны. На кривой ДТА исходного микрокремнезема, а также образцов после предварительного нагрева до 500 °С и до 1000 °С, наблюдается три заметных эндоэффекта обратимого характера: при температурах около 410 °С, 685 °С и 930 °С. Пик при 685 °С на термограмме микрокремнезема МК-Кр выражен очень слабо. Обратимый характер указанных эффектов подтверждается повторной съемкой кривых ДТА с образцов, нагретых ранее до 1000 °С. Эндотермический эффект при температуре 410 °С может быть объяснен поведе-

нием оксидов железа, в частности, дегидратацией гетита и переходом его в гематит [8, 9]. Этот процесс не является обратимым, однако ввиду высокой степени дисперсности гематит переходит в гетит под воздействием влаги воздуха при температуре 20-25 °С. Эндоеффект при 685 °С характеризует обратимые полиморфные превращения $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 \leftrightarrow \gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Эффект при 930 °С обусловлен, вероятно, полиморфными превращениями силикатов [8].

Определенная по кривой ТГ убыль массы образцов составляет 3,6 % для МК-ФС и 4,1 % для МК-Кр. Уменьшение массы образцов происходит в интервале температур 100-1000 °С и обусловлено отдачей неструктурной воды и окислением свободного углерода.

Для ИК-спектров микрокремнезема характерно наличие трех интенсивных полос поглощения при 1400-900, 875-700, 700-400 см^{-1} , и полос средней интенсивности при 3680-3110, 2400-2300, 1930-1800, 1700-1588 см^{-1} . Согласно работам [8, 10, 11], полоса поглощения 3680-3300 см^{-1} достаточно однозначно может быть отнесена к валентным колебаниям свободных и ассоциированных групп $[\text{OH}]^-$. Возможно, этот рефлекс обусловлен наличием в микрокремнеземе гидратированных оксидов железа, кальция, алюминия. Полоса поглощения 1700-1580 см^{-1} связана с проявлением деформационных колебаний единичных молекул воды. Полосы поглощения при 2400-2300 см^{-1} и 1940-1800 см^{-1} обусловлены, вероятно, присутствием кальциевых силикатов. Полосы поглощения при 1400-900, 875-700, 700-400 см^{-1} являются характеристическими для группы $[\text{SiO}_4]^{4-}$. При этом, полосы в области 1100 см^{-1} относятся к валентным, в области 460-530 см^{-1} к деформационным колебаниям SiO_4 -тетраэдра, полоса в области 830-750 см^{-1} объясняется колебаниями Si-O-Si. Для кристобалита характеристическими частотами являются: 465, 523, 695, 784 и 807 (дублет), 1095 и 1168 (дублет) см^{-1} ; α -кварц имеет рефлексы при 495, 620, 756, 1106 и 1200 (дублет) см^{-1} [11]. Поэтому полосы при 1400-900 см^{-1} (с максимумом около 1120 см^{-1}), 875-700 см^{-1} (с максимумом 475 см^{-1}) могут быть определены как характеристические для этих модификаций. Отсутствие на спектре дублетов обусловлено аморфным состоянием кремнезема.

Результаты рентгенофазового, термического и ИК-спектроскопического анализов образцов исходного микрокремнезема и выде-

ленных тяжелой и магнитной фракций хорошо согласуются между собой и дают достаточно полное представление о фазовом составе. В работе [6] при фазовом анализе микрокремнезема, образующегося при производстве ферросплавов, удалось идентифицировать только α -тридимид, α -кварц и магнетит.

Химический состав микрокремнезема, образующегося при производстве кремния и ферросилиция, определялся по стандартным методикам [12]. Установлено, что содержание основной фазы – кремнезема – составляет 93,41-95,33 % масс. в МК-Кр и 91,72-93,63 % масс. в МК-ФС. Свободный углерод в МК-Кр содержится в количестве 1,96-3,28 % масс., в МК-ФС- 0,56-1,18 % масс., свободный кремний в количестве 0,30-0,34 % масс. и 0,18-0,20 % масс., соответственно. В микрокремнеземе обоих видов присутствуют оксиды кальция, алюминия, железа, фосфора, магния, марганца, титана. Потери при прокаливании микрокремнезема МК-Кр составляют 2,94 %, при прокаливании микрокремнезема МК-ФС - 2,72 %, что согласуется с результатами термического анализа.

Анализируя результаты фазового и химического анализов, можно сделать вывод о том, что различия в составе микрокремнезема, образующегося при производстве кремния и высококремнистого ферросилиция немногочисленны и заключаются в следующем:

- свободный кремний содержится в кристаллической форме в микрокремнеземе МК-ФС и в аморфной – в микрокремнеземе МК-Кр. Это объясняется различными скоростями закалки возгонов: при производстве кремния пылегазовый поток орошается водой, при производстве ферросилиция охлаждение достигается за счет большого разбавления воздухом;
- железо содержится в различных формах: в виде магнетита в микрокремнеземе МК-ФС и шпинели $\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ – в микрокремнеземе МК-Кр. Вероятно, небольшое содержание железа в сырьевых материалах при производстве кремния предопределяет возможность его кристаллизации только в составе сложных соединений, чаще шпинелидного типа;
- повышенное содержание свободного углерода в микрокремнеземе МК-Кр может быть связано с выносом древесного угля в газовую фазу в результате прак-

тикуемого на заводе «рыхления» шихты;

- большее содержание примесей в микрокремнеземе МК-ФС объясняется использованием в технологическом процессе железосодержащих материалов и менее чистых кварцитов.

Дисперсность и морфология частиц микрокремнезема исследовались методами БЭТ и электронной микроскопии. Удельная поверхность определялась по адсорбции аргона при температуре кипения жидкого азота на «тренированных» в инертной среде при 383 К для удаления сорбированной влаги и газов образцах [13]. Погрешность измерения удельной поверхности не превышала 2 %. При проведении исследований подтверждены отмеченные в целом ряде работ трудности приготовления качественных препаратов из высокодисперсных порошков, образующих благодаря когезионным силам достаточно прочные вторичные агрегаты, не разрушаемые традиционными методами, например, диспергированием в вязкой среде (обычно раствор нитроцеллюлозы в амилацетате). Положительные результаты были получены при реализации следующей методики приготовления препаратов: навеску порошка 0,1 г смешивали с 500 мл 50 % раствора этилового спирта и обрабатывали ультразвуком в диспергаторе ЗДН-1 в течение 15-30 мин. Каплю полученной суспензии наносили на угольную подложку толщиной 0,025-0,250 мкм и высушивали при температуре 323 К. Использовали увеличение в 20000-40000 раз. Относительная погрешность определения размеров частиц составляла 10 %.

В результате электронно-микроскопических исследований установлено, что микрокремнезем, образующейся при производстве кремния и ферросилиция, состоит из частиц преимущественно сферической формы размером 0,1-0,4 мкм, объединенных в непрочные агрегаты размером до 1 мкм, частично разрушаемые при прокаливании. Определение в работе [6] среднего размера частиц в 3,04 мкм и размеров агрегатов - в 17,11 мкм обусловлено, по-видимому, некачественной подготовкой препаратов для электронно-микроскопических исследований. Удельная поверхность микрокремнезема, определенная методом БЭТ, составляет 20000-22000 м²/кг - аналогичные результаты получены в [6]. При исследовании дисперсности микрокремнезема, образующегося при произ-

водстве кремния и ферросплавов, по вышеописанным методикам не установлены их различия по данной характеристике.

Выводы

Разработана балансовая схема массопереноса монооксида кремния в ферросплавных печах, предложен механизм образования микрокремнезема, проведена его комплексная физико-химическая аттестация. Полученная информация о свойствах микрокремнезема является достаточно полной и может быть использована для разработки на его основе технологических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толстогузов Н.В. Пылеобразование при плавке кремния и высококремнистого ферросилиция / Н.В. Толстогузов, К.С. Елкин // Докл. совещ. «Электротермия-94 :Проблемы оптимизации технологического режима и методы расчета дуговых электротермических печей» / СпбТИ. – СПб., 1994. – С. 121-128.
2. Якушевич Н.Ф. Взаимодействие углерода с оксидами кальция, кремния, алюминия / Н.Ф. Якушевич, Г.В. Галевский. – Новокузнецк: СибГИУ, 1999. – 250 с.
3. Якушевич Н.Ф. Физико-химические взаимодействия в руднотермических печах при плавке кремния / Н.Ф. Якушевич, О.А. Коврова // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1997. – № 8 – С. 3-8.
4. Якушевич Н.Ф. Механизм межфазных взаимодействий в ванне ферросилициевой печи / Н.Ф. Якушевич [и др.] // Материалы Всеросс. науч.-тех. сов. «Компьютерные методы в управлении электротехнологическими режимами руднотермических печей» / С.-ПтТИ. – С.-Пб., 1998. – С. 59-65.
5. Полях О.А. Физико-химические процессы пылеобразования при выплавке ферросилиция / О.А. Полях и др. // Сб. науч. тр. «Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии». Вып. 8 / СибГИУ. – Новокузнецк, 1999 – С. 41-45.
6. Стороженко Г.И. Определение основных характеристик пылевидных отходов производства ферросилиция / Г.И. Стороженко, К.А. Черепанов // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1989. – № 2. – С. 152-155.
7. Index (Inorganic) to the Powder Diffraction Fil.-Philadelphia, 1973.
8. Горшков В.С. Методы физико-химического анализа вязущих веществ / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. –М.: ВШ, 1981. – 335 с.

9. Топор Н.Д. Термический анализ минералов и неорганических соединений / Н.Д. Топор, Л.П. Огородова, Л.В. Мельчакова. – М.: Изд. МГУ, 1987. – 190 с.

10. Накамото Н. Инфракрасные спектры силикатов / Н. Накамото. – М.: Мир, 1967. – 268 с.

11. Плюсина И.И. Инфракрасные спектры минералов / И.И.Плюсина. – М.: Изд. МГУ, 1976. – 175 с.

12. ГОСТ 23581.15-81* – ГОСТ 23581.22-81*. Руды железные, концентраты, агломераты и окатыши. Методы химического анализа. – Введ. 01.01.81, изменен 1.02.87. – М.: ИПП Изд-во стандартов, 2003. – 440 с.

13. ГОСТ 23401-90. Порошки металлические, катализаторы и носители. Определение удельной поверхности. – Введ. 22.12.90. – М.: ИПП Изд-во стандартов, 2003. – 440 с.

УДК 628.511.122(669.168.3+669.782)

О.А. Полях, Г.В. Галевский

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

ОЦЕНКА МИКРОКРЕМНЕЗЕМА В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЕВОГО МАТЕРИАЛА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Проведен анализ литературной информации о возможных направлениях использования дисперсных кремнеземсодержащих материалов техногенного и природного происхождения в технологических процессах. Показана целесообразность применения микрокремнезема для синтеза кремнийорганических соединений, карбида кремния и в качестве возврата производственных циклов.

Диоксид кремния входит в состав большого количества многотоннажных промышленных отходов [1-7]. В золах и золошлаках содержится 27-63 % SiO_2 , в горелой формовочной земле – 90-96 %. В отходах горнодобывающих предприятий - 20-80 % SiO_2 , в металлургических – 16-55 %, производства фтористого алюминия – 83-90 %, производства ферросплавов – до 95 %, производства кристаллического кремния – до 97 %. При этом потери кремния составляют, например, при выплавке ФС75 10-15 % [8, 9].

Во многих странах микрокремнезем, образующийся при выплавке кремния и ферросплавов, является товарным продуктом. На территории России единственным производителем сертифицированного микрокремнезема, предназначенного для использования в качестве минеральной составляющей при изготовлении огнеупорных и теплоизоляционных материалов, в качестве высокоактивной добавки к цементу является ОАО «Кузнецкие ферросплавы».

Применительно к традиционным областям применения исследование свойств микрокремнезема, производится, в основном, по физико-технологическим характеристикам: насыпная плотность, аэрируемость, адгезионные и аутогезионные свойства – с целью изучения возможности транспортирования; гидравлическая активность, водопотребность и пр. – для увеличения эффективности использования в строительной индустрии. Немногочисленны исследования, направленные на аттестацию микрокремнезема, образующегося при производстве кремния, хотя по химическому составу он представляет интерес как возможный сырьевой материал технологических процессов.

Обзор литературных данных выявил следующие аспекты проблемы использования микрокремнезема, образующегося при производстве кремния и ферросилиция:

- наличие положительных свойств: значительное содержание кремнезема, высокая дисперсность, низкая стоимость, доступность и пр.;

- наличие негативных свойств: содержание примесей, а также низкая насыпная плотность и другие свойства, затрудняющие его транспортировку, выгрузку, хранение и т.д.

Аттестационные характеристики микрокремнезема, образующегося при производстве кремния и высококремнистых сплавов, свидетельствуют о целесообразности организации на его основе электротермических процессов, требующих применения материалов повышенной дисперсности. Большое содержание примесей в микрокремнеземе является наиболее значимым критерием при оценке его в качестве сырьевого материала технологических процессов и предопределяет крайне незначительное использование. Актуальность разработки и освоения технологических процессов с использованием микрокремнезема обусловлено возможностью исключения стадии диспергирования сырьевых материалов и снижения себестоимости целевого продукта.

На основе имеющихся литературных данных и патентных предложений [10-15] можно выделить следующие возможные направления использования микрокремнезема в технологических процессах:

- синтез кремнийорганических соединений и пр.;
- вторичное использование в производственных циклах;
- получение карбида кремния.

В обзоре [16] приводится ссылка на использование микрокремнезема, образующегося при производстве ферросплавов, для получения метилхлорсиланов и тетрахлорида кремния, который служит сырьем для синтеза кремнийорганических соединений, производства полупроводникового кремния, диоксида кремния особой чистоты. Обычно образование тетрахлорида кремния протекает при высоких температурах, использование для этих целей аморфных модификаций кремнезема позволяет снизить температуру начала хлорирования на 300-500 °С.

К настоящему времени технология электроплавки кремния располагает опытом использования микрокремнезема в качестве возврата [17-24]. Авторами [18] указывается на технологическую эффективность применения микрокремнезема, выражающейся в повышении реакционной способности рудного компонента шихты и увеличения производительности электроплавки. Однако в работе [25]

отмечается, что возвращение микрокремнезема в печь наносит технологическому процессу больший ущерб, чем его вынос с технологическими газами. Вероятно, это объясняется активной газификацией тонкодисперсного кремнезема в низко- и среднетемпературных зонах реакционного пространства печи и, как следствие, недостатком элементарного кремния в высокотемпературной зоне, что и приводит к повышению расхода электроэнергии и восстановителя. Во избежание указанных негативных моментов, требуется разработка способов окускования микрокремнезема и ведение восстановительной электроплавки, обеспечивающей возможность проникновения окускованного материала в высокотемпературную зону печи [19-20]. При выплавке ферросилиция так же, как и при производстве кремния, существует позитивная практика вторичного использования микрокремнезема [21, 22]. Таким образом, использование предварительно окускованного микрокремнезема при выплавке кремния и ферросилиция, позволяет достичь достаточно высокого извлечения кремния из кремнезема, снизить расход шихтовых материалов и электроэнергии, что, на фоне ощутимого дефицита сырьевых материалов и экологических проблем, можно рассматривать как важный показатель эффективности производства.

Одним из возможных технологических процессов на основе высокодисперсных кремнеземсодержащих материалов является производство карбида кремния. В качестве кремнеземсодержащего сырья при получении карбида и нитрида кремния для керамики рассматривалась возможность использования таких аморфных разновидностей как рисовая шелуха (концентрация диоксида кремния в золе после сжигания более 90 % [26]) и вулканический пепел. Огнеупорные материалы, содержащие 50-93 % карбида кремния, были получены из полидисперсных порошков высокозольных (до 50 % A^d) экибастузских углей крупностью менее 63 мкм, содержащих до 65 % диоксида кремния, в электропечах и с использованием дуговой плазмы [27, 28]. В [29] исследовались закономерности и технологические особенности получения металлургического карбида кремния из углеродвысокозольных пород непрерывным процессом в агрегате типа «вертикальная шахта» в интервале рабочих температур 1873-2323 К. В качестве сырьевых материалов использовались: углистый алевролит (71,93-79,86 % масс. SiO_2),

углистый аргелит (61,82-80,62 % масс. SiO_2), высокозольный уголь (61,10-70,94 % масс. SiO_2), экибастузские сланцы (50,74 % масс. SiO_2), карельский шунгит (87,48 % масс. SiO_2), – с насыпным весом 0,79-1,75 г/см³. Наибольшее содержание карбида кремния в продукте (порядка 89 % масс.) достигалось при использовании карельского шунгита с крупностью зерна 0,145 мм и 5-10 мм. Данные по дисперсному составу полученного карбида кремния в работе не приводятся. В [30] описан способ получения из шунгита нитевидных кристаллов карбида кремния длиной до 1,5 мкм.

В [31] разработана технология так называемого низкотемпературного синтеза карбида кремния из микрокремнезема, образующегося при производстве ферросплавов, рекомендуемого для применения в металлургии и электротехнике. Гранулированную шихту из дисперсного бурогоугольного полукокса, микрокремнезема и связующего (водного раствора лигносульфонатов или жидкого стекла) подвергали термообработке в электропечах в течение 1 часа. Выход карбида кремния при этом составлял 79-86 %, однако аттестационные характеристики получаемого карбида не приведены, что не позволяет судить об эффективности процесса. Микропорошки карбида кремния фракции М5 были получены в индукционной печи при использовании брикетов, приготовленных из микрокремнезема, образующегося при производстве кремния и ферросилиция, и измельченного до фракции - 2 мм углеродистого восстановителя [32]. Степень восстановления, близкая к 100 %, достигалась при температуре 1600-1650 °С, брикеты спекались и рассыпались в тонкий порошок. В [33] карбид кремния получали из окомкованной шихты, состоящей из микрокремнезема, образующегося при производстве ферросплавов, и кокса крупностью -10 мкм. Процесс восстановления при атмосферном давлении начинался при температурах, близких к теоретической (~ 1550 °С), при 1670 °С степень восстановления достигала 100 %, при 1600 °С – 70 %.

Таким образом, к настоящему времени предложен ряд технологических решений по использованию в качестве сырья для получения карбида кремния высокодисперсных кремнеземсодержащих материалов техногенного и природного происхождения, доступных, недорогих и имеющих большие объемы накоплений, что можно рассматривать как

новое направление в технологии этого продукта, позволяющее достичь нужных характеристик карбида кремния и отвечающее требованиям ресурсосбережения. Несмотря на принципиальную возможность получения карбида кремния и ряд положительных эффектов, достигаемых при использовании высокодисперсных кремнеземсодержащих материалов (снижение температуры синтеза, высокая дисперсность, высокое содержание SiC) [34], разработки подобных технологических процессов немногочисленны и тем более не освоены даже как малотоннажные производства.

Выводы

Проведен анализ современной практики использования в восстановительных процессах микрокремнезема, образующегося при производстве кремния и ферросплавов. На основе обзора литературных данных показана возможность применения микрокремнезема для синтеза кремнийорганических соединений, высокодисперсного карбида кремния и в качестве возврата в производственных циклах, обусловленная такими его характеристиками, как высокое содержание диоксида кремния, большая удельная поверхность, доступность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов П.И. Строительная керамика из побочных продуктов промышленности / П.И. Баженов и др. – М.: Стройиздат, 1986. – 136 с.
2. Рябов Г.Г. Исследование металлургических шлаков для изготовления замазок / Г.Г. Рябов и др. // Обзорная инфор. ВНИИЭСМ. Сер.11: Использование отходов попутных продуктов в производстве строительных материалов и изделий. Охрана окружающей среды. – М., 1988. – С. 9-11.
3. Состав и свойства золы и шлака ТЭС: Спр. пособие. Ч. I – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 288 с.
4. Ескарев А.И. Декоративный материал с добавкой отходов суперфосфатного производства / А.И. Ескарев и др. // Обзорная инфор. ВНИИЭСМ. Сер.11: Использование отходов попутных продуктов в производстве строительных материалов и изделий. Охрана окружающей среды. – М., 1988. – С. 11-12.
5. Павленко С.И. Химический и фазовый состав техногенных отходов, перспективных для производства бесцементного композиционного бетона / С.И. Павленко и др. // Сб. на-

уч. тр. «Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии» / СибГИУ: Вып. 9. – Новокузнецк, 2000. – С. 44-48.

6. Каприелов С.С. Эффективный путь утилизации ультрадисперсных продуктов газоочистки печей / С.С. Каприелов и др. // Сталь. – 1992. – № 5. – С. 83-85.

7. Приходько А.А. Декоративный бетон с комплексной добавкой красного шлама и пыли кремния / А.А. Приходько и др. // Тезисы докл. конф. «Разработка ресурсосберегающей технологии, эффективных технологий производств строительных материалов и конструкций» – Днепропетровск, 1988. – С. 144-145.

8. Зубов В.Л. Электрометаллургия ферросилиция / В.Л. Зубов, М.И. Гасик. – Днепропетровск: Системные технологии, 2002. – 704 с.

9. Гасик М.И. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов / М.И. Гасик, Н.П. Лякишев. – М.: СП Интермет Инжиниринг, 1999. – 764 с.

10. Батраков В.Г. Оценка ультрадисперсных отходов металлургических производств как добавок в бетон / В.Г. Батраков и др. // Бетон и железобетон. – 1990. – №12. – С. 15-17.

11. Стороженко Г.И. Определение основных характеристик пылевидных отходов производства ферросилиция / Г.И. Стороженко, К.А. Черепанов // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1989. – № 2. – С. 152-155.

12. Евсеев Н.В. Изучение свойств пыли, уловленной в аппаратах систем газоочистки при производстве кремния на ИркАЗе и БрАЗе / Н.В. Евсеев [и др.] // Тез. докл. Всес. науч.-тех. конф. «Современное состояние и перспективы развития производства кремния» – Братск, 1989. – С. 102.

13. Страхов В.М. Использование колошниковой пыли производства ферросилиция для улучшения свойств углеродистого восстановителя / В.М. Страхов [и др.] / Сб. науч. тр. "Кремнистые ферросплавы" – М.: Металлургия, 1988. – С. 77-81.

14. Еремин В.П. Создание технологии гранулирования и упаковки пыли газоочистки производств технического кремния / В.П. Еремин, А.А. Соколовский // Тез. докл. междунауч.-тех. конф. «Пути повышения качества продукции кремниевого производства» – Иркутск, 1994. – С. 74-75.

15. Ливенец В.И. Физико-механические свойства кремнеземистой пыли, образующей-

ся при производстве ферросилиция / В.И. Ливенец, В.М. Динельт, К.А. Черепанов // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1989. – № 8. – С. 152-153.

16. Виноградов С.В. Перспективы использования пыли газоочистных производств ферросилиция / С.В. Виноградов и др. // Сталь. – 1989. – № 4 – С. 41-44.

17. Зельберг Б.И. Шихта для электротермического производства кремния / Б.И. Зельберг, А.Е. Черных, К.С. Елкин – Челябинск: Металл, 1994. – 320 с.

18. Евсеев Н.В. Влияние добавок пылевого отхода на физико-химические превращения в шихте при выплавке технического кремния / Н.В. Евсеев, Н.В. Головных, Н.Ф. Радченко // Цветные металлы. – 1991. – №10. – С. 29-31.

19. Щадис В.С. Разработка и применение высокопористых композиционных видов сырья для выплавки кремния: автореф. дисс. канд. тех. наук / В.С. Щадис: Иркутский гос. техн. ун-т. – Иркутск, 1997. – 19 с.: граф. – Библиогр. С. 18-19 (14 назв.).

20. Черных А.Е. Тонкодисперсные технологические материалы как сырье для выплавки кремния / А.Е. Черных и др. // Тез. докл. междунауч.-тех. конф. «Пути повышения качества продукции кремниевого производства». – Иркутск, 1994. – С. 9-11.

21. Павлов С.Ф. Использование сухой пыли газоочисток для плавки ферросилиция / С.Ф. Павлов и др. // Материалы завод. науч.-тех. конф. «Совершенствование производства ферросилиция». – Новокузнецк, 1997. – Вып. 3 – С. 388-394.

22. Толочко А.И. Утилизация пыли и шламов в черной металлургии / А.И. Толочко и др. – Челябинск: Металлургия, 1990. – 152 с.

23. Федоренко Н.В. Рациональное использование порошкообразных и дисперсных отходов ферросплавного производства / Н.В. Федоренко, А.С. Дубровин, В.И. Хяккинен // Междунауч.-тех. конф. «Уральская металлургия на рубеже тысячелетий». Тез. докл. – Челябинск, 1999. – С. 88.

24. Волынкина Е.П. Брикетирование пыли и отсевов как способ получения кондиционного сырья и продукции в производстве ферросилиция / Волынкина Е.П., Кудашкина С.А., Машинский В.М. // Материалы завод. науч.-тех. конф. «Совершенствование производства ферросилиция». – Новокузнецк, 1997. – Вып. 3. – С. 367-370.

25. Толстогузов Н.В. Схема карботермического восстановления кремния / Н.В. Толсто-

гузов // Изв. вуз. Цветная металлургия. – 1992. – № 5-6. – С. 71-81.

26. Кожевников Г.И. Получение кремния повышенной чистоты из рисовой шелухи/ Г.И. Кожевников, А.Г. Водопьянов, Ю.И. Сухарников // Тез. докл. Всесоюз. науч.-тех. конф. «Научно-технический прогресс и повышение качества при производстве кремния». – Иркутск, 1991. – С.7-8.

27. Косолапова Т.Я. Неметаллические тугоплавкие соединения / Т.Я. Косолапова и др. – М.: Металлургия, 1985. – 224 с.

28. Круковский В.К. Исследование процесса нагрева полидисперсного угля высокотемпературным газовым теплоносителем / В.К. Круковский, В.В. Лебедев, Е.А. Колобова // Химия твердого топлива. – 1976. – № 6. – С. 26-29.

29. Павлов С.Ф. Металлургический карбид кремния. Получение и применение: автореф. дисс. канд. тех. наук / С.Ф. Павлов: СибМИ. – Новокузнецк, 1987. – 20 с.: граф. – Библиогр. С. 19-20 (7 назв.)

30. Крапивина С.А. Плазмохимические технологические процессы / С.А. Крапивина – Л.: Химия, 1981. – 248 с.

31. А.С. 1730035 (СССР) МКИ С01В31/36. Способ получения карбида кремния/ В.М. Динельт, В.И. Ливенец – 4768209/26; заявл. 12.12.89; опубл. в Б.И. 1992. №16.

32. Якушевич Н.Ф. Технология углетермического синтеза микропорошков карбида кремния / Н.Ф. Якушевич и др. // Тез. докл. науч.-тех. конф. «Новые материалы и технологии» / МГАТУ. – М., 1994. – С. 32.

33. Якушевич Н.Ф. Кинетика углетермического восстановления кремнеземсодержащих пылевых отходов / Н.Ф. Якушевич, О.А. Коврова, Г.В. Галевский // Тез. докл. междунауч.-тех. конф. «Пути повышения качества продукции кремниевого производства». – Иркутск, 1994. – С.48-49.

34. Полях О.А. Оценка возможности и целесообразности использования мелкодисперсных кремнеземсодержащих материалов в восстановительных процессах/ О.А. Полях [и др.] // Сб. науч. тр. «Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии» / СибГИУ. – Новокузнецк, 1999. – Вып. 8. – С. 29-40.

УДК 621.771:621.78.08

М.В. Темлянцев

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР НАГРЕВА ПЕРЕД ПРОКАТКОЙ РЕЛЬСОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАЛИ

В статье экспериментальным путем исследованы влияние температуры нагрева и времени выдержки на величину зерна и характер излома рельсовой электростали, микролегированной ванадием после единичных обжатий со степенью деформации достигающей 25-50 %.

Работа выполнена в рамках ведомственной научной программы «Развитие научного потенциала высшей школы», код проекта 4008

Выбор рационального температурного интервала нагрева металла перед прокаткой предопределяет качество стальной продукции. В частности чрезмерно высокие температуры нагрева приводят к явлениям перегрева и пережога, появлению рванин, снижению пластичности металла и механических свойств готового проката. Пониженные температуры нагрева металла увеличивают сопротивление пластической деформации, а соответственно усилия и расход электроэнергии на прокатку, так же могут снизить пластичность металла, качество геометрии профиля.

Применительно к рельсовой стали температура нагрева непрерывнолитых заготовок (НЛЗ) марки Э76Ф (содержание основных легирующих элементов, %: C=0,71-0,82; Si=0,25-0,45; Mn=0,75-1,05; V=0,03-0,15) обычно не превышает 1200-1250 °С. Оценка температуры максимальной пластичности по соотношению представленному в работе [1] показывает, что для стали с содержанием углерода 0,71-0,82 % она составляет 1190-1200 °С. Температура перегрева, рассчитанная по соотношению, предложенному Е.И. Казанцевым [2] составляет 1160-1200 °С. Слитки мартеновской рельсовой стали нагревают обычно до более высоких температур 1280-1290 °С, при этом организация рациональной продолжительности томления в среднем на уровне 1 часа обеспечивает значительное улучшение качества поверхности рельсовой продукции

[3]. Основной положительный эффект высокотемпературного томления связан с переходом в окалину части поверхностных дефектов, по данным [4] при продолжительности 4 часа могут удаляться дефекты глубиной 2 мм. В то же время чрезмерно большая продолжительность может привести к обнажению подкорковых пузырей, окислению полостей трещин и снижению качества поверхности.

В работе [5] методом испытаний на осадку установлено, что при температурах нагрева до 1200 °С признаки перегрева на образцах отсутствуют полностью. При 1250 °С наблюдаются первые признаки перегрева, однако при осадке на 1/3 цилиндрических образцов диаметром 25 мм и высотой 50 мм нагретых до 1250-1300 °С надрывы и разрывы металла не наблюдали. Нагрев до 1350 °С и осадка на 1/3 высоты приводит к образованию незначительных надрывов. Авторы [5] считают, что в интервале 900-1300 °С рельсовая сталь, разлитая в слитки или на машине непрерывного литья заготовок имеет удовлетворительную пластичность.

Помимо потери пластичности высокие температуры нагрева и продолжительные выдержки (томление) могут приводить к образованию нафталинистого и камневидного изломов стали, снижению комплекса механических свойств готового проката [6].

В рамках данной работы проведено исследование влияния высокотемпературного на-

грева до 1200, 1250, 1300 и 1350 °С и продолжительных выдержек в течение 1, 2, 3, 6 ч на структуру и вид излома непрерывнолитой рельсовой стали марки Э76Ф с содержанием ванадия 0,03%. Квадратные образцы поперечным сечением 20×20 мм длиной 40 мм вырезали из поверхностных слоев НЛЗ. Нагрев проводили в электрической печи сопротивления типа СУОЛ-0,25.1/12,5-И1 с нагревателями из карбида кремния. После нагрева образцы в горячем состоянии подвергали однократным обжатиям (прокатывали) на лабораторном дуо-реверсивном прокатном стане с гладкими валками диаметром 139 мм. Обжатия при этом достигали 25-50 %, а скорости деформации 1,7-2,1 1/с. После прокатки образцы охлаждали на воздухе. Окалинку удаляли травлением в подогретом до 40-60 °С 10%-ном растворе H₂SO₄ с добавкой 0,1 г/л тиомочевины. В средней части прокатанных образцов делали пропи́л шириной 3 мм на глубину примерно 1/3 высоты, далее их разламывали на гидравлическом прессе. После исследования излома изготовляли шлиф для изучения микроструктуры металла.

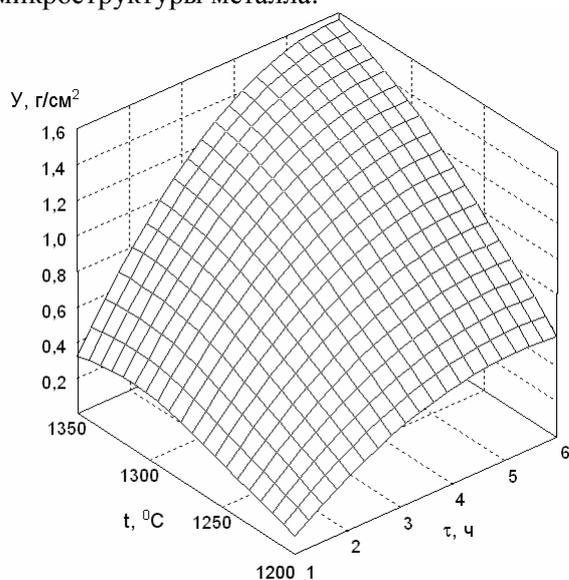


Рисунок 1 – Зависимость угара рельсовой стали марки Э76Ф от температуры и продолжительности выдержки

Нагрев образцов до температур 1350 °С с продолжительными выдержками сопровождается значительными потерями металла с окалинкой. Увеличение продолжительности выдержки с 1 ч до 6 ч при температуре 1350 °С приводит к росту угара с 0,35-0,4 до 1,5-1,6 г/см² т.е. почти в 4 раза. На рисунке 1 представлена зависимость угара от температуры и продолжительности выдержки.

На рисунке 2 представлен вид изломов исследуемых образцов. Как видно из рисунка 2 камневидный излом отсутствует даже при нагреве до температур 1350 °С и 6-ти часовой выдержке. Однако повышение температуры и времени выдержки приводит к образованию более крупнозернистого излома.

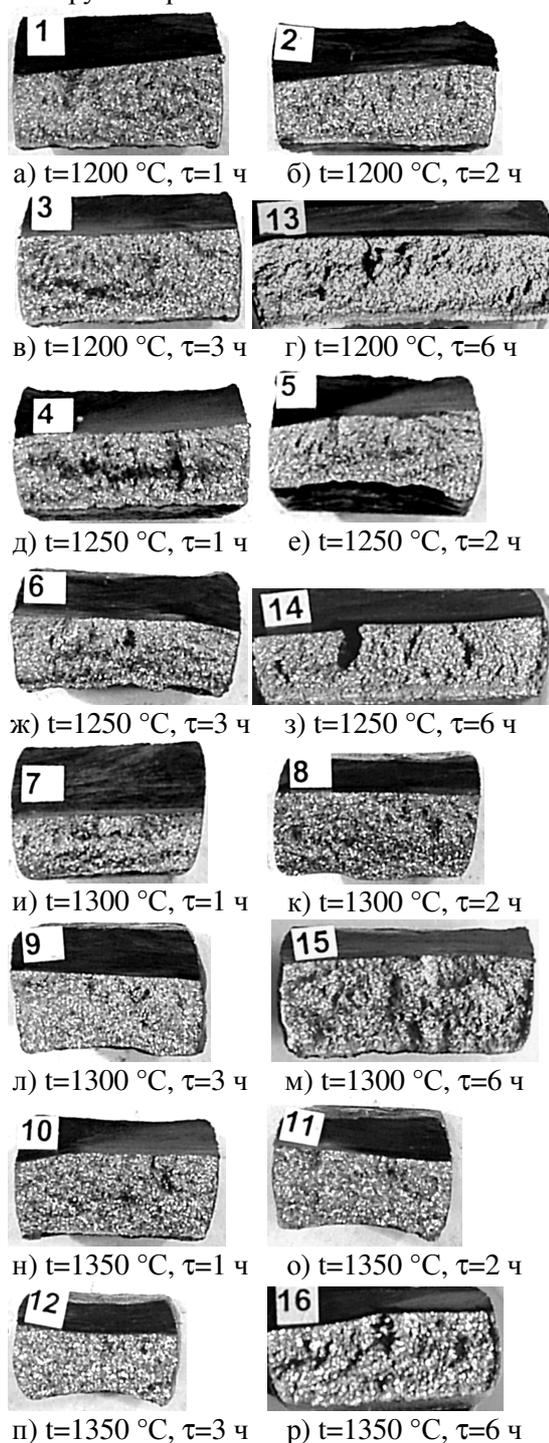
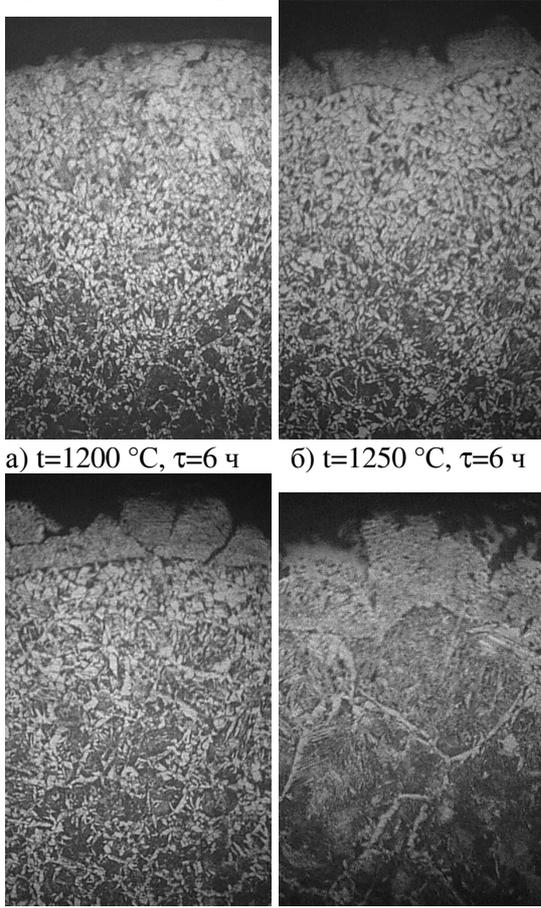


Рисунок 2 – Изменение характера излома стали Э76Ф в зависимости от температуры и времени выдержки

Нагрев до температур 1300 °С и более и выдержка более 3 ч формирует нафталинистый излом с характерным селективным блеском, изменяющимся при изменении угла падения света [6].

Микроструктура боковых граней образцов рельсовой стали после 6-ти часовой выдержки при различных температурах и прокатки представлена на рисунке 3.



а) $t=1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau=6\text{ ч}$ б) $t=1250\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau=6\text{ ч}$

в) $t=1300\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau=6\text{ ч}$ г) $t=1350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau=6\text{ ч}$

Рисунок 3 – Микроструктура боковых граней деформированных образцов рельсовой стали $\times 80$

Металлографическое исследование показало, что глубина общего видимого обезуглероживания при 6-ти часовой выдержке при температуре 1200 °С составляет 2–2,5 мм, 1250 °С – 2,5–3,0 мм, 1300 °С – 2,6–3,5 мм, 1350 °С – 2,5–3,6 мм. С ростом температуры увеличиваются величина слоя полного обезуглероживания (феррита) и балл зерна. Для деформированных образцов, с температурой выдержки 1350 °С балл зерна составляет 1–2, 1300 °С – 3, 1250 °С – 4, 1200 °С – 4. Значительная величина единичного обжата и интенсивное охлаждение металла при контакте с валками способствуют измельчению зерна стали. Так зерно образцов нагретых в анало-

гичных условиях, но не деформированных составляет не менее 1–2 баллов. Как видно из рисунка 3 мелкие рванины, образующиеся на боковых гранях образцов не превышают величину полностью обезуглероженного ферритного слоя. Их образование вероятно вызвано пониженной пластичностью этого слоя в связи со значительным скоплением оксидов и представляющим собой смешанную зону (внутреннего окисления).

Проведенные исследования показали, что рельсовую сталь, микролегированную ванадием не смотря на достаточно высокое содержание углерода можно считать не склонной к перегреву и образованию камневидного излома. Определенную положительную роль при этом влияет повышенное содержание марганца приводящее к образованию сульфидов MnS с температурой плавления 1600 °С вместо FeS с температурой плавления 1190 °С [7] и микролигирование ванадием, связывающее азот в нитрид ванадия. Для обеспечения высокого качества и необходимых механических свойств рельсового металла температуру нагрева НЛЗ рекомендуется выбирать на уровне 1200–1250 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перетягко В.Н. Пластичность углеродистых сталей / В.Н. Перетягко, М.А. Зайков // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1961. – № 6. – С. 67–73.
2. Казанцев Е.И. Промышленные печи / Е.И. Казанцев. – М.: Металлургия, 1975. – 368 с.
3. Оптимизация нагрева слитков рельсовой стали перед прокаткой / В.Ф. Карпенко, Н.Ф. Левченко, Ю.М. Таптыгин и др. // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической информации. – 1982. – № 2. – С. 50–51.
4. Производство рельсов на Кузнецком металлургическом комбинате / Н.С. Михайлец, А.Е. Горелкина, В.А. Кошкин и др. – М.: Металлургия, 1964. – 223 с.
5. Исследование технологической пластичности рельсовой стали, разлитой в изложницы на установке непрерывной разливки / Е.Р. Браунштейн, Т.П. Гуляева, В.С. Стариков, Н.М. Сорокин // Актуальные проблемы материаловедения в металлургии: Сб. тез. докл. – Новокузнецк: СибГГМА, 1997. – 180 с.
6. Ежов А.А. Изломы конструкционных сталей (часть 3) / А.А. Ежов, Л.П. Герасимова,

А.М. Каток // МиТОМ. – 2004. – № 10. – С. 43-48.

7. Гольдштейн Я.Е., Лазарева М.П. Камне-видный излом в конструкционных сталях

обычной и высокой чистоты / Я.Е. Гольдштейн, М.П. Лазарева // Изв. АН СССР. Металлы. – 1973. – № 2. – С.156-159.

УДК 669.15:539.25

Н.А. Попова, С.И. Климашин*, Н.А. Конева, В.Е. Громов*, Э.В. Козлов

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

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

ДИСЛОКАЦИОННЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ ОТПУСКЕ ЛИТОЙ СРЕДНЕЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

Методами просвечивающей дифракционной микроскопии проведен количественный анализ процессов фрагментации при различной длительности отпуска при 660 °С литой среднелегированной стали 30ХНЗМФА. Показано, что перестройка дислокационной структуры нефрагментированная → фрагментированная сопровождается уменьшением скалярной плотности дислокации.

Литые закаленные конструкционные стали, находят широкое применение в ответственных изделиях современного машиностроения. Для придания комплекса эксплуатационных свойств используется отпуск, приводящий к образованию карбидных фаз и снижению степени дефектности мартенситной структуры [1-3]. Эти процессы взаимосвязаны между собой, поскольку существует сильное взаимодействие между дислокациями и атомами углерода [4]. Обычно в работах по влиянию отпуска ограничиваются анализом образования карбидных фаз и качественным описанием эволюции дефектной субструктуры. Знание количественных закономерностей изменения параметров дефектной субструктуры в процессе отпуска позволяет целенаправленно разрабатывать технологические режимы термической обработки. В настоящей работе методом просвечивающей электронной дифракционной микроскопии изучено влияние длительности при отпуска 660 °С на дефектную субструктуру литой конструкционной среднелегированной стали 30ХНЗМФА после закалки от 900 °С.

Методики определения средних размеров мартенситных кристаллов и фрагментов, па-

раметров тонкой структуры, объемных долей различных структурных составляющих не отличались от стандартных [5-6].

Как и в [3], в исходном состоянии после закалки для стали подобного химического состава α -матрица содержит около 90 % пакетного (речного) мартенсита (рисунок 1, а). Остальная объемная доля состоит из пластинчатого низкотемпературного (около 7 %) и высокотемпературного ~3 % мартенсита. Разделение пластинчатого мартенсита на низко- и высокотемпературный помимо формы их размеров осуществлялось также по объемной доле и размерам частиц цементита, «самоотпуска», выделяющихся в процессе закалки [3, 4, 7].

Если после закалки скалярная плотность дислокаций достигает высоких значений $1,5 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-2}$ то, уже непродолжительный отпуск снижает ее в 1,5 раза. В исходном состоянии стали на электронно-микроскопических изображениях отмечаются мощные изгибные экстинкционные контуры, формируется дислокационная структура с высоким значением избыточной плотности дислокаций.

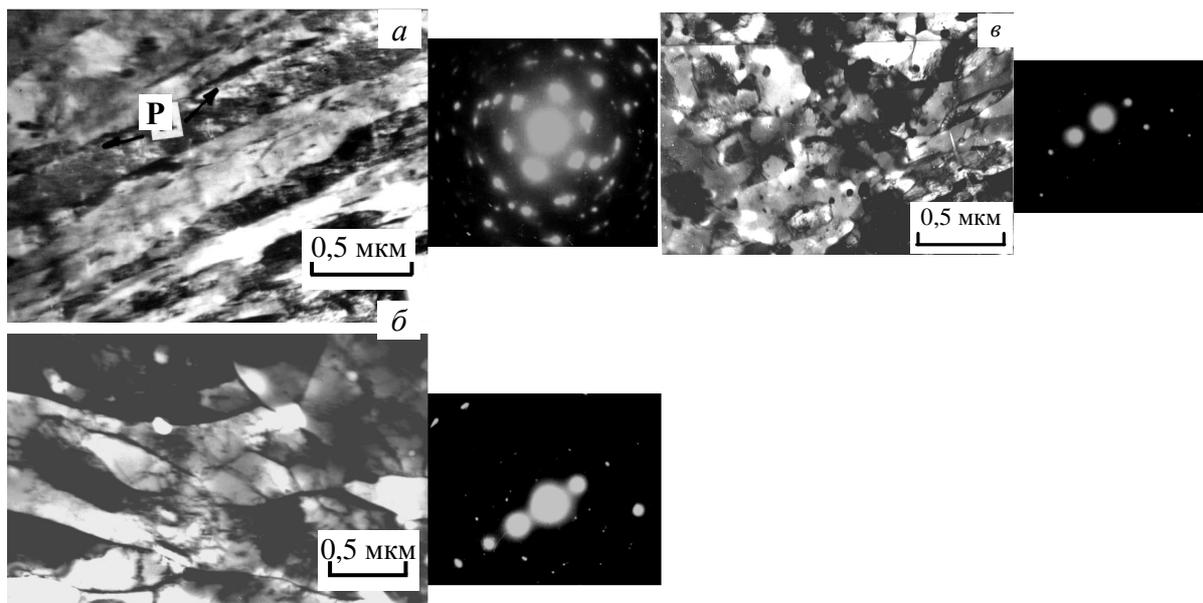


Рисунок – Тонкая структура речного мартенсита закаленной (а) и отпущенной при 660 °С в течение 11 (б) и 100 (в) часов стали 30ХНЗМФА

Как установлено в [4,7], перестройка дислокационной субструктуры и релаксация полей внутренних направлений приводит к формированию фрагментированной субструктуры.

Фрагментации подвержен только пакетный мартенсит. Причем, чаще всего фрагментированными оказываются мелкие пакеты, которые располагаются в стыках с другими, более крупными пакетами и пластинами. Крупные пакеты могут быть фрагментированы лишь частично. В таких пакетах фрагментированными оказываются лишь те рейки, которые располагаются ближе к стыкам пакетов и пластин. Внутри сформированных анизотропных фрагментов присутствует хорошо развитая сетчатая дислокационная субструктура, а по границам – выделение карбидных фаз.

Смешанную структуру пакетного и пластинчатого отпущенного мартенсита отпуск не изменяет. Изменению подвержена структура и форма границ между рейками в пакете. Возникают новые субграницы, расположенные как вдаль, так и поперек мартенситных

реек, которые из анизотропных превращаются в изотропные фрагментированные (рисунок 1 б, в). Данную структуру можно считать мартенситом отпуска [4,7]. Продолжительность отпуска при 660 °С оказывает влияние на процессы фрагментации, способствует субструктурному превращению «нефрагментированная субструктура» → «фрагментированная структура», которая завершается уже после 10 часов. Это подтверждается анализом микродифракционных картин, приведенных на рисунке. В исходном закаленном состоянии стали с нефрагментированными мартенситными рейками на микродифракционном изображении видна кольцевая картина с одинаковой интенсивностью рефлексов. Это свидетельствует о наличии в структуре большого набора непрерывных разориентировок. Развитие процессов фрагментации при увеличении продолжительности отпуска приводит к сокращению атомных плоскостей, дающих сильные рефлексы, и микродифракционные картины скорее напоминают монокристаллические (рисунок б, в).

Таблица – Изменение параметров дислокационных субструктур при отпуске

Параметр Продолжительность отпуска, часы	Объемная доля дислокационных субструктур		Скалярная плотность дислокаций $\times 10^{-15}, \text{м}^{-2}$
	фрагментированная	нефрагментированная	
1	0,6	0,4	1,2
10	0,92	0,08	1,0
100	1,00	0	0,65

В отличие от закалки процесс фрагментации при отпуске отмечается сначала в пластинчатом низкотемпературном мартенсите. Это происходит, когда основная часть пакетного мартенсита (около 70 %) уже фрагментирована. Параллельно с этими процессами во всем объеме α -фазы снижается скалярная плотность дислокаций (таблица).

Таким образом, отпуск при 660 °С до 100 часов закаленной литой конструкционной среднелегированной стали приводит к субструктурному дислокационному превращению (нефрагментированная → фрагментированная) и уменьшению скалярной плотности дислокаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Счастливец В.М. Структура термически обработанной стали / В.М. Счастливец, Д.А. Мирзаев, И.Л. Яковлева. – М.: Металлургия, 1994. – 288 с.
2. Бернштейн М.Л. Отпуск стали / М.Л. Бернштейн, Л.М. Капуткина, С.Д. Прокошкин. – М.: МИСИС, 1997. – 336 с.

3. Иванов Ю.Ф. Объемная и поверхностная закалка конструкционной стали – морфологический анализ структуры / Ю.Ф. Иванов, Э.В. Козлов // Изв. вуз. Физика. – 2002. – № 3. – С. 5-23.

4. Влияние типа субструктуры на перераспределение углерода в стали мартенситного класса в ходе пластической деформации / Э.В. Козлов, Н.А. Попова, Л.Н. Игнатенко и др. // Изв. вуз. Физика. – 2002. – № 3. – С. 72-86.

5. Чернявский В.С. Стереология в металловедении / В.С. Чернявский. – М.: Металлургия, 1977. – 280 с.

6. Электронная микроскопия тонких кристаллов / П. Хирш, А. Хови, Р. Николсон и др. – М.: Мир, 1968. – 574 с.

7. Иванов Ю.Ф. Многоступенчатая схема мартенситного превращения низко- и среднеуглеродистых малолегированных сталей / Ю.Ф. Иванов, Э.В. Козлов // Материаловедение. – 2000. – № 11. – С.33-37.

УДК [669.017 : 539.52] : 620.162.3

В.Г. Кондратьев, Н.В. Котова

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ СКРУЧИВАНИЯ

Цель работы: а) создание машины для испытания образцов на скручивание в широком диапазоне скоростей скручивания: от 67 до 3000 об/мин; б) получение экспериментальных данных по влиянию температуры и скорости скручивания на пластичность и сопротивление деформации сталей. В результате проведенных опытов получены данные по пластичности и сопротивлению деформации для сталей Ст3, 08Х18Н10Т и Х23Н18 при скоростях скручивания 67, 960, 1500 и 3000 об/мин и температурах 900, 1000, 1100 и 1200 °С. По экспериментальным данным построены графики, которые позволяют судить о характере влияния температуры и скорости скручивания на пластичность и сопротивление сталей.

Под пластичностью понимается способность металла деформироваться без разрушения.

Знание пластических свойств металлов и сплавов позволяет создавать технологии об-

работки металлов давлением, обеспечивающие наибольшую производительность производства и наилучшие механические свойства изделий.

Процессы обработки металлов давлением происходят в широком диапазоне скоростей деформации: от 0,03 – 0,06 1/сек на гидравлических прессах, до 100 1/сек на непрерывных прокатных станах, до 1000 и более – при штамповке взрывом.

Стандартные характеристики пластичности металлов получают методом растяжения или скручивания при статических испытаниях ($10^{-4} - 10^{-3}$ 1/сек) и комнатных температурах. Поэтому непосредственное использование данных статических испытаний для расчета высокоскоростных и высокотемпературных процессов деформации приводит к значительным ошибкам.

Наиболее значимыми технологическими факторами, влияющими на пластичность металлов, является скорость деформации и температура. Для определения влияния температуры и скорости деформации на пластичность металлов в данной работе использовался метод горячего скручивания.

Метод скручивания позволяет воспроизводить скорости деформации реальных процессов обработки металлов давлением и является наиболее чувствительным, так как в процессе испытания в образце возникают касательные напряжения, разрушающие образец.

Существующие стандартные машины позволяют производить испытания пластичности металлов только при малых скоростях деформации до $10^{-1} - 10^0$ 1/сек. Скоростной режим деформации реальных процессов значительно шире. Поэтому была сконструирована и построена испытательная машина на скручивание с изменением скорости вращения от 67 до 3000 об/мин. Основная особенность конструкции машины заключается в том, что за счет особого механизма включения позволяет скручивать образцы при постоянной строго фиксированной скорости деформации. Количество оборотов до разрушения фиксировалось электроконтактным счетчиком. Скручивание образцов происходило непосредственно в нагревательной печи, температура испытания фиксировалась платиноплатинородиевой термопарой, регулировалась температура автотрансформатором.

Испытанию подверглись следующие стали: углеродистая Ст3 и нержавеющие стали 08X18H10T и 20X23H18. Температуры испытания 900, 1000, 1100 и 1200 °С. Скорости скручивания при испытаниях 67, 530, 1500 и 3000 об/мин.

По опытным данным построены графики представленные на рисунках 1-3.

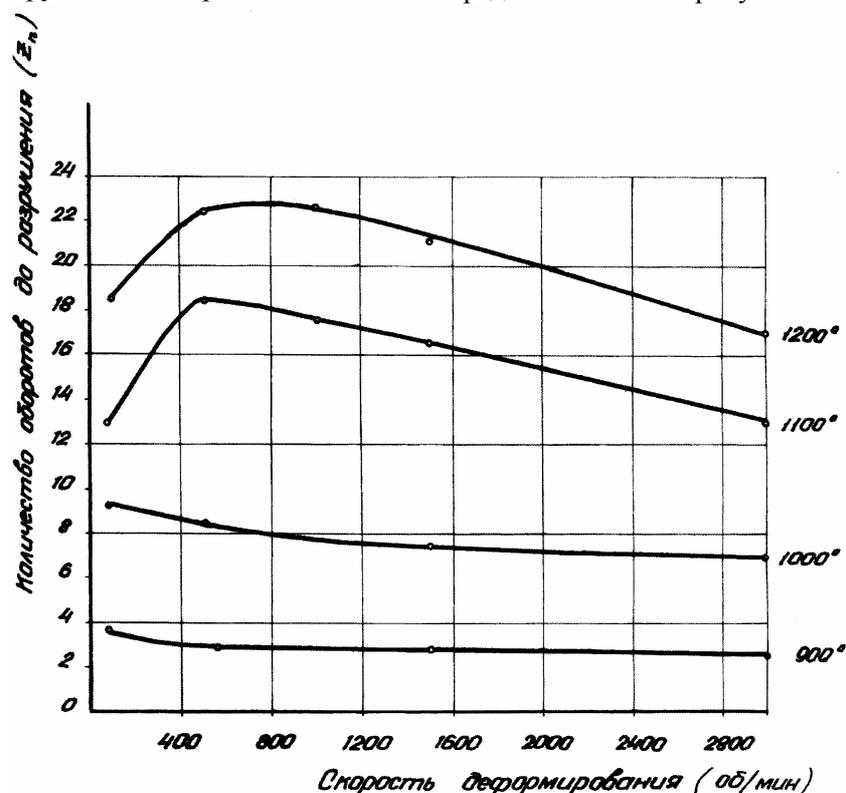


Рисунок 1 – Зависимость пластичности от скорости скручивания для стали 20X23H18

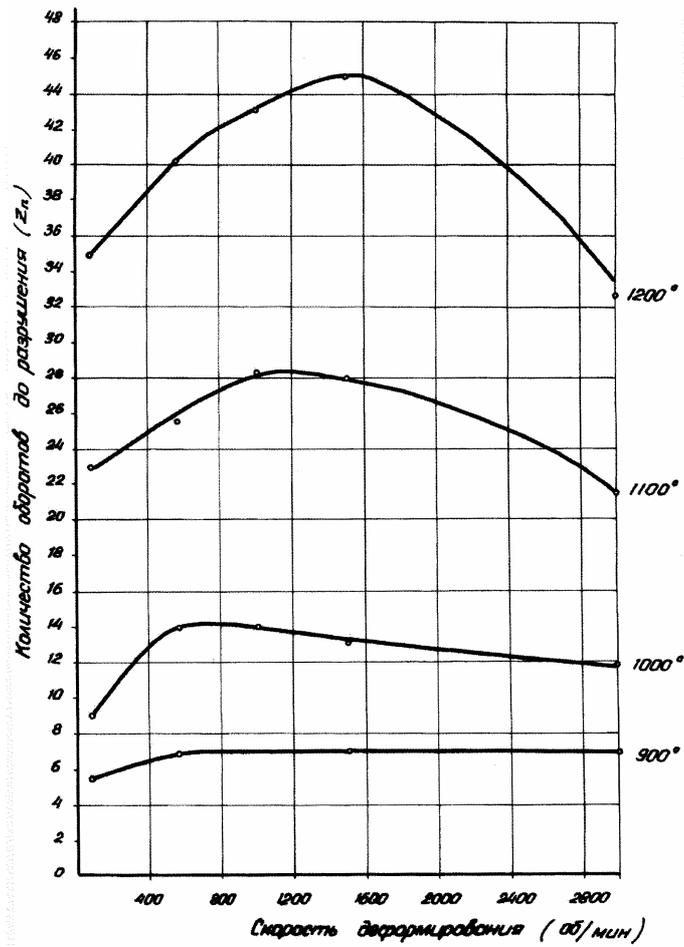


Рисунок 2 – Зависимость пластичности от скорости скручивания для стали СТ3

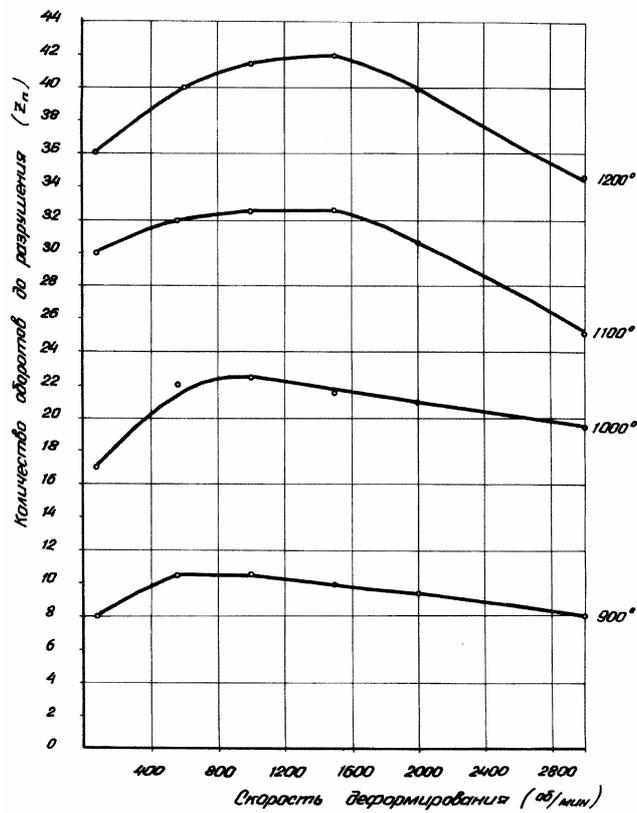


Рисунок 3 – Зависимость пластичности от скорости скручивания для стали 08X18H10T

Из графиков видно, что пластичность стали с увеличением температуры увеличивается при всех скоростях скручивания независимо от марки стали. Однако интенсивность увеличения пластичности стали с ростом температуры для различных марок стали разная.

К примеру, при скорости скручивания 1500 об/мин у стали Ст3 при температуре 900 °С количество оборотов до разрушения – 9,5, а при 1200 °С – 42 (больше в 4,5 раза). У стали 08Х18Н10Т при 900 °С – 7 оборотов до разрушения, а при 1200 °С – 45,5 (в 6,5 раз больше). У стали 20Х23Н18 при 900 °С – 2,5 оборота до разрушения, а при 1200 °С – 21 (в 8,4 раза больше). Из этого следует: чем больше сталь имеет предел текучести, тем сильнее влияние на пластичность температуры нагрева.

Зависимость количества оборотов до разрушения от скорости скручивания выглядит следующим образом: с увеличением скорости скручивания пластичность стали возрастает до максимального значения при определенных скоростях скручивания. Дальнейшее увеличение скорости скручивания понижает пластичность стали и достигает минимального

значения при скорости скручивания 3000 об/мин.

Максимальное значение пластичности зависит от марки стали, скорости скручивания и температуры. Как видно из таблицы, максимальная пластичность исследуемых сталей наблюдается при скорости скручивания от 550 до 1600 об/мин., т.е. при скоростях деформации $1,5 \cdot 10^0$ до $4 \cdot 10^0$ 1/сек. Из этого следует, что максимальные степени деформации этих сталей могут быть достигнуты при обработке металлов давлением на кривошипных прессах, на блюминге и на крупносортовых станах, то есть при скоростях деформации: 2 – 10; 0,8 – 3; 1 – 5 1/сек.

ВЫВОДЫ

1. Исследованы пластические свойства сталей Ст3, 08Х18Н10Т и 20Х23Н18 методом скручивания при высоких температурах и различных скоростях скручивания.

2. Рекомендованы методы обработки металлов давлением, при которых наиболее полно реализуется максимальная пластичность исследованных сталей.

Таблица – Смещение максимума пластичности в зависимости от температуры

Максимальная пластичность при скорости скручивания от			
Температура	Марка стали		
	Ст3	08Х18Н10Т	20Х23Н18
900	570	700	18
1000	650	850	18
1100	1200	1200	560
1200	1600	1550	800

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайков М.А. Режимы деформации и усилия при горячей прокатке / М.А. Зайков. – М.: Металлургиздат, 1960. – 290 с.

2. Кондратьев В.Г., Зайков М.А., Перетяченко В.Н., Вульф В.В. // Заводская лаборатория. – 1967. – № 6. – С.71-72

Т.Н. Осколкова

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

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК10КС ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ В ВОДОПОЛИМЕРНОЙ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СРЕДЕ

В статье представлены результаты исследований структуры и твердости сплава ВК10КС после его закалки в водном растворе полимера

Закалка – одна из наиболее распространенных и ответственных технологических операций упрочняющей термической обработки. Закалку деталей в большинстве случаев осуществляют в жидких средах, которые оказывают существенное влияние на формирование структуры и прочностных свойств материала. От современных охлаждающих сред требуются следующие свойства:

- 1) не вызывать чрезмерных закалочных деформаций;
- 2) обладать эксплуатационной стойкостью и иметь высокое сопротивление термическому разложению и окислению;
- 3) не реагировать с поверхностью закаливаемых деталей и резервуаров для охлаждающих сред;
- 4) соответствовать требованиям токсичности, возгораемости, защиты природной среды и чистоты рабочего места;
- 5) образовывать легко устранимые остатки с поверхности деталей путем мойки или отпаривания;
- 6) иметь малую удельную стоимость (на единицу продукции) [1].

При закалке легированных сталей и различных сплавов до недавнего времени традиционно использовали минеральные масла. Наилучшей закалывающей способностью обладают масла, нагретые до температур 40-60 °С. Для поддержания температуры масла в данном интервале необходимо, с одной стороны, его подогреть, а с другой, – охладить. С этой целью требуются дополнительные энергетические затраты и затраты на приобретение маслоохладительных установок. С повышением температуры масла ускоряется процесс окисления и термического разложения масла с образованием большого количества смолистых веществ. Кроме того, перегретое масло может вспыхнуть и вызвать

пожар. При закалке масла, находящееся у поверхности раскаленных изделий, испаряется, приводит к разложению углеводородов с образованием вредных для здоровья человека и окружающей среды продуктов.

В настоящее время все большее число промышленных предприятий прекращают использование минеральных масел для закалки [2,3]. Представляет практический и научный интерес заменители минеральных масел. В основном это закалочные среды, представляющие собой растворы полимерных соединений и органических веществ. Закалочная полимерная среда, используемая вместо минеральных масел, должна обладать следующими преимуществами:

- 1) не должна ухудшать экологическую обстановку предприятий;
- 2) должна обеспечивать комплекс свойств закаливаемого металла такой же, как минеральные масла;
- 3) должна превышать время эксплуатации закалочных масел;
- 4) должна быть дешевле, чем масла.

В настоящее время следует отметить, что существующие затруднения в проведении работ по исследованию синтетических закалочных сред в определенной степени обусловлены отсутствием единых методик, а также малым количеством публикаций по комплексным исследованиям свойств изделий после закалки в синтетических закалочных средах.

В рамках данной работы проводились исследования по опробованию синтетической закалочной среды ПК-М для закалки твердого сплава ВК10КС с целью замены индустриального масла И-20А.

Закалочная жидкость ПК-М представляет собой водный раствор полимера (натрий-железосодержащей соли полиакриловой кислоты с модифицированной молекулярной

структурой), нейтрализованного натриевой щелочью до водородного показателя раствора рН $6,5 \div 10$.

Среда ПК-М является нетоксичной, негорючей, неагрессивной в коррозионном отношении жидкостью, поэтому ее эксплуатация не требует специальных средств защиты обслуживающего персонала и оборудования. Входящий в состав жидкости полимер обладает высокой сопротивляемостью термодеструкции, что определяет хорошую технологическую стойкость жидкости в три и более раз превышающую стойкость нефтяных масел. Состояние полимера ПК-М в растворе зависит от теплонагруженности закалочной ванны. Средний расход рабочего закалочного раствора соответствует приблизительно 2,5 кг на тонну обрабатываемого металла. В процессе эксплуатации не требуется замены жидкости в закалочном баке. Рабочее состояние среды поддерживается проведением корректировок (добавлением концентрата, воды), исходя из результатов регулярного контроля охлаждающей способности ванны. Очистка закалочного бака от оседающей на дно окалины производится по мере необходимости, при этом не требуется какого-либо обезвреживания извлеченного шлама. Закалочная жидкость ПК-М безопасна для кожных покровов работающих. При случайном замораживании и последующем оттаивании концентрат не теряет своих технологических свойств.

Жидкость ПК-М позволяет обеспечивать практически любую заданную интенсивность охлаждения металлов в диапазоне «вода – масло» и может быть использована для закалки деталей и заготовок широкого спектра ти-

поразмеров и марок сталей, а также изделий из других сплавов.

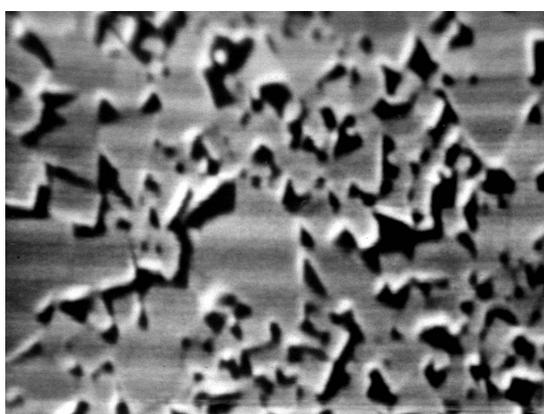
Закаливающая способность среды ПК-М может регулироваться изменением концентрации полимера в растворе, температуры или интенсивности перемешивания ванны.

В настоящей работе необходимое для приготовления закалочного раствора количество воды и концентрата определялось, исходя из результатов охлаждающей способности пробных растворов полимера в сравнении с кривыми охлаждения масла И-20А и воды. При этом за основу выбирался тот пробный раствор, кривая охлаждения которого совпадает с кривой охлаждения масла или максимально приближается к ней.

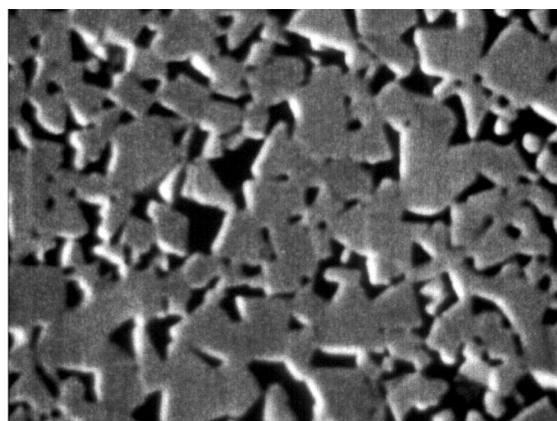
Микроструктура сплава ВК10КС в исходном нетермообработанном состоянии – двухфазная и состоит из кристаллов карбида вольфрама WC (светлая структурная составляющая) и связующей фазы (темная структурная составляющая (рисунок 1, а).

Зерна карбида вольфрама выглядят как многогранники с четкими границами. Углы многогранников могут являться концентраторами напряжений, поэтому проведение закалки твердого сплава является целесообразным [4].

После закалки твердого сплава с температуры 1160 °С в 10 % водном растворе полимера ПК-М по результатам растровой электронной микроскопии можно отчетливо видеть, что после термообработки несколько изменяется конфигурация зерен монокарбида вольфрама (рисунок 1,б).

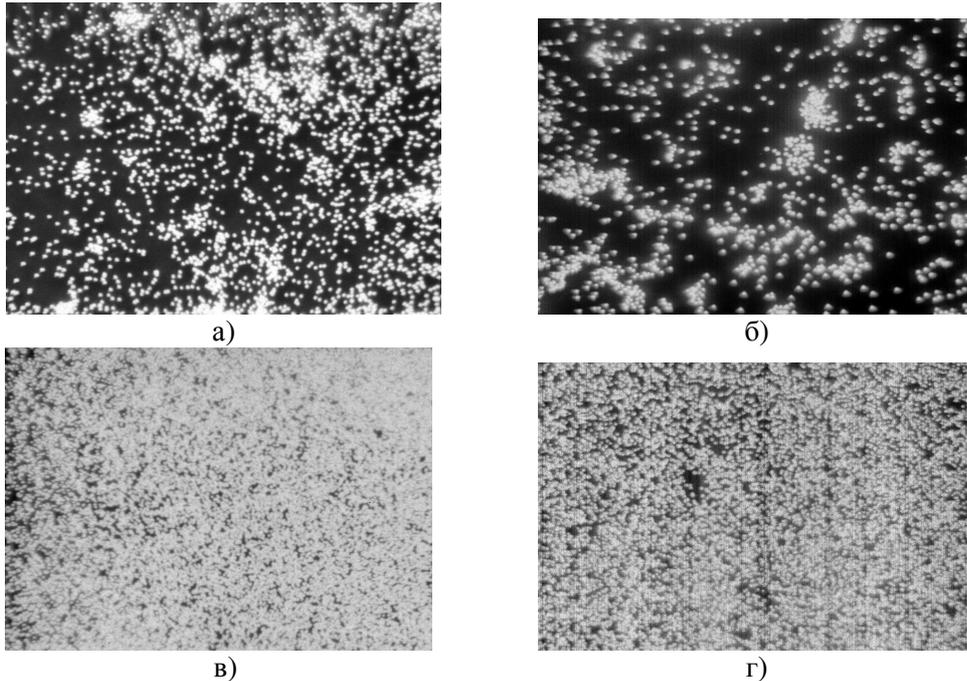


а)



б)

а – исходное состояние; б – после закалки в 10% растворе полимера ПК-М
Рисунок 1 – Изображение микроструктуры сплава ВК10КС во вторичных электронах X2500



а – исходное состояние, излучение кобальта; б – после закалки в полимере, излучение кобальта; в – исходное состояние, излучение вольфрама; г – после закалки в полимере, излучение вольфрама

Рисунок 2 – Изображение микроструктуры сплава ВК10КС в характеристических рентгеновских излучениях $\times 2500$

После закалки вершины многогранников сглажены, величина зерен WC уменьшилась. Это явилось следствием растворения зерен карбида вольфрама в кобальте при нагреве под закалку (рисунок 2), которое приводит к возрастанию твердости после закалки до значений HRA=92-94 (по сравнению с исходной HRA=86,5).

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о том, что закалочная среда ПК-М может успешно использоваться вместо индустриального масла И-20А для закалки твердого сплава ВК10КС, при этом улучшается его структура и повышается твердость, что положительно скажется на эксплуатационной стойкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Люты В. Закалочные среды: Справочник / В. Люты. – Челябинск: Металлургия, 1990. – 192 с.
2. Ежов В.М. Выбор экологически чистых полимерных водорастворимых закалочных сред взамен минеральных масел / В.М. Ежов // МИТОМ. – 1991. – № 4. – С. 8-10.
3. Горюшин В.В. О применении синтетических закалочных сред в промышленности (В помощь ИТР промышленных предприятий) / В.В. Горюшин // МИТОМ. – 1991. – № 4. – С. 10-14.
4. Изменение структуры и свойств твердого сплава после закалки / Т.Н. Осолкова, Н.К. Каськова // Сборник научных трудов, Вестник горно-металлургической секции Российской Академии естественных наук. Вып. 14. – Новокузнецк, 2005. – С. 210-214.

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

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

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ НИТРОЦЕМЕНТОВАННОЙ СТАЛИ 20Х2Н4А

Методами оптической, просвечивающей электронной микроскопии изучено влияние нитроцементации и последующих видов термообработки на структуру стали 20Х2Н4А. Определены количественные параметры градиентной структуры, которая характеризуется изменением размеров зерна, количества карбидной и карбонитридной фаз по мере удаления от поверхности.

Широко применяемым и наиболее эффективным в промышленности методом повышения износостойкости и прочности высоконагруженных деталей машин является химико-термическая обработка, воздействующая на поверхностные слои металлов и сплавов [1,2]. Нитроцементация, как один из методов химико-термической обработки, получила широкое распространение на машиностроительных заводах Сибири, но при этом постоянно ведутся работы по усовершенствованию данного процесса и последующих режимов термической обработки.

Настоящая работа выполнена с целью изучения влияния термообработки на структуру нитроцементованной стали, а именно, изменение различных ее параметров по мере удаления от поверхности вглубь образца. К таким параметрам относятся средние размеры зерен – D , объемные доли – δ % и места распределения карбидной и карбонитридной фаз.

Материалом исследования служила сталь мартенситного класса 20Х2Н4А [3], прошедшая процесс поверхностного насыщения азотом и углеродом (нитроцементация) при 920 °С в промышленных условиях. Затем проводился высокий отпуск при 620 °С, 1 час, закалка в масло от 820 °С, и низкий отпуск при 180 °С в течение 1 часа. Такая обработка привела к изменению в фазовом составе, морфологии фаз и особенностям строения слоев материала, прилегающих к поверхности.

Исследования структуры и фазового состава стали после нитроцементации и термообработки проводились методами: оптической, просвечивающей электронной дифракцион-

ной микроскопии. Оптическая микроскопия выполнялась на шлифах, вырезанных перпендикулярно нитроцементованной поверхности. При этом травление поверхности проведено отдельно а) для выявления границ зерен и крупных карбидных частиц и б) для выявления внутренней структуры зерен. Электронная микроскопия выполнялась на фольгах, вырезанных параллельно нитроцементованной поверхности на различных, строго фиксированных, расстояниях от поверхности. По полученным микроэлектроннограммам с использованием светлопольных и темнопольных изображений определялся фазовый состав стали. В ходе исследования определялись следующие характеристики: размер зерен и их распределение, объемная доля и размер частиц карбидов и карбонитридов. Методики электронно-микроскопических исследований не отличались от описанных в [4-6].

Высокотемпературная нитроцементация формирует градиентные структурно-фазовые состояния в этой стали [7], проявляющиеся в закономерном изменении их параметров в зависимости от расстояния до поверхности обработки вглубь образца. Нитроцементованный слой, толщина которого в нашем случае составляет 1,3 мм, четко разделяется на отдельные зоны [8]. Первая зона I – 0-130 мкм, вторая II – 130-760 мкм, третья III – 760-1300 мкм, затем – основной металл. В первой зоне наблюдается слабое травление границ зерен, внутренняя структура зерен выражена нечетко. Во второй зоне границы зерен выявляются четко, внутри зерен присутствует хорошо выраженная структура. В третьей зоне

границы зерен четкие, но внутренняя зеренная структура выявляется слабо.

Как показали исследования, проведенные нами методом просвечивающей электронной микроскопии в работе [9], выделения, обладающие пластинчатой формой, представляют собой цементит, легированный хромом $(Fe,Cr)_3C$. Выделения округлой формы (и большие, и маленькие) – карбонитрид типа $M_{23}(C,N)_6$. По мере удаления от поверхности образца в глубь объемная доля выделений (как цементита, так и карбонитридов) быстро уменьшается, приближаясь к значению в зоне основного металла. Это хорошо видно из количественной оценки результатов, представленных на рисунке 1.

Сложным образом изменяются размеры зерен (рисунок 2, кр.1): на поверхности средний размер зерен имеет минимальное значение, затем он быстро возрастает и на глубине ~400 мкм становится наибольшим. После этого размер зерен убывает, достигая в конце слоя значения среднего размера зерна основного металла, и приближаясь к исходному ($D = 70$ мкм). Проведенный после нитроцементации отпуск при 620 °С, 1 час привел к некоторому увеличению нитроцементованного слоя (1,5 мм). Слой по-прежнему состоит из трех зон, размеры которых также несколько увеличились (первая – 0-150 мкм, вторая – 150-890

мкм и третья – 890-1500 мкм). Высокий отпуск привел к тому, что внутризеренная структура стала более грубой, а границы зерен – более тонкими.

Как и в материале до отпуска, на границах зерен присутствуют выделения цементита, имеющие пластинчатую форму, и выделения карбонитрида $M_{23}(C,N)_6$ округлой формы. Размеры их немного меньше и по мере удаления в глубь материала изменяются очень слабо. При этом объемная доля выделений всегда остается меньше, чем в материале после нитроцементации до отпуска (рисунок 1). Средний размер зерен и закономерность его изменения при удалении от поверхности – такая же, что и в материале до высокого отпуска (рисунок 2).

Закалка в масло от 820 °С нитроцементованной и высокоотпущенной стали, еще более увеличила размер зон нитроцементованного слоя: первая зона – 0-180 мкм, вторая – 180-960 мкм и третья – 960-1600 мкм. Кроме того, закалка сильно изменила структуру стали и резко уменьшила размер зерна (рисунок 2, кр.3).

В первой зоне нитроцементованного слоя образовалась мелкая однородная структура. По мере удаления от поверхности в глубь, структура стали укрупняется и огрубляется.

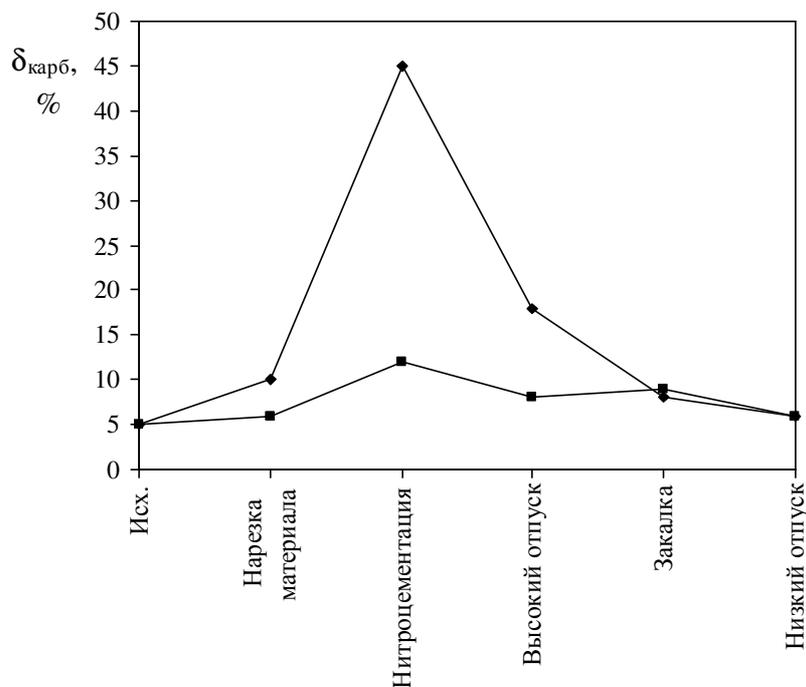
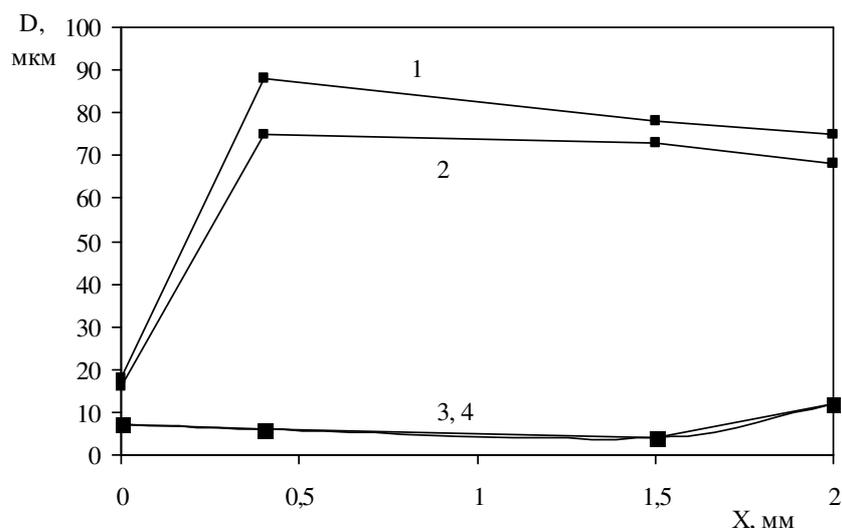


Рисунок 1 – Изменение объемной доли ($\delta_{карб}$) суммарного количества карбидов и карбонитридов на поверхности материала (1) и на расстоянии ~ 2 мм (2) в зависимости от вида термообработки



1 – нитроцементация, 2 – высокий отпуск, 3 – закалка, 4 – низкий отпуск
 Рисунок 2 – Средние размеры зерен (D) на разных расстояниях от нитроцементованной поверхности стали при различных режимах термической обработки

Такое различие, прежде всего обязано измельчению аустенитных зерен в ходе нагрева под закалку. Поэтому структуры последующего превращения при охлаждении, как показали электронно – микроскопические исследования, также мелкие. Произошли изменения и в карбидной фазе. Из сравнения количественных данных объемных долей карбидов и карбонитридов на разных расстояниях от поверхности (рисунок 1) и данных рисунка 2 видно, что материал по этим параметрам (средний размер зерна, объемная доля карбидной и карбонитридной фаз) после этого вида термообработки приближается к основному материалу.

Низкий отпуск при 180 °С, в течение 1 часа нитроцементованной высокоотпущенной и закаленной стали не приводит к значимым качественным и количественным изменениям в структуре стали. Это хорошо видно из сопоставления кривых на рисунке 1. Количественные параметры материала после заключительного низкого отпуска практически не отличаются от соответствующих параметров материала после закалки. Размер зерен остается без изменений (рисунок 2). Доли карбидных и карбонитридных фаз различаются незначительно.

Выводы

В работе качественно и количественно изучены градиентные структурно-фазовые состояния стали 20X2H4A, возникшие в ре-

зультате нитроцементации и последующих термообработок. Определены количественные параметры градиентной структуры, которая характеризуется закономерным изменением по глубине размеров зерна, количеством карбидной и карбонитридной фаз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Громов В.Е., Бердышев В.А., Козлов Э.В. и др. Градиентные структурно-фазовые состояния рельсовой стали. - М.: Недра коммюникейшинс, 2000. – 176с.
2. Гурьев А.М., Козлов Э.В., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А. Физические основы термодинамического борирования сталей. - Барнаул: АлтГТУ, 2000. – 177с.
3. Сорокин Г.В., Волосникова А.В., Вяткин С.А. и др. Марочник сталей и сплавов. – М.: Машиностроение, 1971. – 424с.
4. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. – М.: Металлургия, 1973. – 584с.
5. Чернявский К.С. Стереология в металловедении. – М.: Металлургия, 1977. – 208с.
6. Эндрюс К., Дайсон Д., Клоун С. Электрограммы и их интерпретация. – М.: Мир, 1971. – 256с.
7. Козлов Э.В., Попова Н.А., Малиновская В.А., Сизоненко Н.Р. Формирование и эволюция градиентных структурно – фазовых состояний в нитроцементованной стали 20X2H4A после термообработки // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. – Но-

вокузнецк: Сиб ГИУ, 2005. – №14. – С. 219-225.

8. Козлов Э.В., Малиновская В.А., Попова Н.А. и др. Влияние нитроцементации на структуру стали 20Х2Н4А // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – Барнаул: АГТУ, 2005. – №2. – С. 32-38.

9. Попова Н.А., Игнатенко Л.Н., Малиновская В.А. и др. Фазовый состав и градиентная структура нитроцементованного слоя стали 20Х2Н4А // Естественные и гуманитарные науки в XXI веке. – Томск: ТГАСУ, 2004. – С.5-17.

УДК 669.046:621.186.3:620.179.11

В.И. Петров, К.А. Лисицын, Н.Д. Калюкина, В.А. Петрова

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

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПАРОПРОВОДОВ ИЗ СТАЛИ 12Х1МФ: СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МЕТАЛЛА

Приведены результаты исследования механических свойств и микроструктуры теплоустойчивой стали 12Х1МФ после эксплуатации, составляющей более половины расчетного срока. Проведенный карбидный анализ свидетельствует об эволюции структурно – фазового состояния.

Ответственные детали и узлы современного теплоэнергетического оборудования изготавливаются из теплоустойчивых низколегированных сталей, обладающих достаточной стабильностью свойств. Наиболее распространенной и применяющейся для паропроводов является сталь 12Х1МФ, основу которой составляет малолегированный раствор на базе α - железа. Для труб поверхности нагрева стабилизация структуры происходит через 30...70 тысяч часов эксплуатации, когда она становится более однородной. Эксплуатационные параметры соответствуют давлениям до 14 МПа и температуре 565 – 570 °С. Нарушение режимов работы приводит к возникновению циклических нагрузок как термических, так и механических. При ползучести зарождаются и растут поры главным образом на межфазных поверхностях раздела карбид-матрица, по границам и в точках стыка трех зерен, что может быть причиной возникновения трещин. Циклические нагрузки могут быть как малоцикловыми (во время пусков и остановок агрегата), так и многоцикловыми вследствие нарушения технологических режимов. При этом, оценивая с позиций механики разрушения длину зародившейся трещины, можно определить, достигнет ли она

критического размера в пределах предусмотренной долговечности.

Оценить работоспособность паропроводов (прямых участков и гнутых отводов) обычным методом дефектоскопии затруднительно из-за наличия окалина на поверхности, теплоизоляционного покрытия (во время эксплуатации), а сплошная зачистка во время ремонтов связана с большими затратами времени. Кроме того, следует учитывать, что к настоящему времени большая часть теплоэнергетического оборудования отработала свой расчетный срок, а полная замена его невозможна вследствие нехватки металла и его высокой цены.

Исследование микроструктуры металла труб при оптических увеличениях не выявляет существенных различий в микроструктуре исходного и длительно состаренного металла в течение 40-120 тыс. часов эксплуатации. Электронно-микроскопические исследования показывают, что в процессе эксплуатации возрастает плотность распределения карбидной фазы по границам зерен.

Одной из основных причин разупрочнения металла паропроводов при высокотемпературной службе является переход легирующих элементов из твердого раствора в карбидную

фазу и обусловленное этим обеднение твердого раствора легирующими элементами, приводящее к необходимости контроля механических свойств каждого паропровода, отрабатывающего свой расчетный срок. Кроме этого, установлено, что все зерна феррита в металле имеют следы тонкого скольжения, на которые приходится до 50 % общей величины ползучести. Следы скольжения пересекают все зерна и, по мере увеличения деформации, становятся более широкими и четкими, причем плотность линии тонкого скольжения имеет взаимосвязь с кратковременными механическими свойствами. Ранее было показано, что для оценки эксплуатационной надежности целесообразно проводить дополнительный контроль на образование пор в металле.

В России уже почти полвека действует единая, обязательная для всех энергопредприятий система контроля металла на тепловых электростанциях, включающая нормативно-техническую документацию по входному, эксплуатационному и послепарковому контролю, а также исполнителей – металловедческие лаборатории ТЭС, энергоуправления и специализированные организации. Эта система обеспечивается единой технической политикой Департамента науки и техники РАО «ЕЭС России» и осуществляется контролем Госгортехнадзора РФ.

Большое количество отечественных паропроводов высокого давления, работающих при высоких температурах, в настоящее время близко к границе исчерпания установленного для них ранее расчетного ресурса, который назначается проектными и исследовательскими организациями исходя из определенных представлений о скорости изменения их прочностных свойств с течением времени.

Основным условием, определяющим возможность продления срока службы паропроводов, является отсутствие претензий к металлу элементов паропровода с позиций металловедения и дефектоскопии. Однако проведение сплошного контроля металла и всех сварных стыков весьма трудоемкое и дорогостоящее мероприятие. Поэтому достаточно часто практикуется проведение выборочного

контроля. При этом, возможно, что некоторые дефектные детали и элементы останутся не выявленными, в результате чего повреждения могут возникать уже после продления срока эксплуатации на паропроводах, формально признанных благополучными, причем в статистике аварийности имеются соответствующие примеры.

Целью данной работы является определение влияния срока службы на структурные изменения образцов паропроводов, изготовленных из стали 12Х1МФ, отработавшей около 57 тыс. часов при давлении 10 МПа и температуре 540 °С. Исследование механических свойств производилось безобразцовым методом, также были проведены металлографический и карбидный анализы.

Микроструктуры металла паропровода исследовались методом оттисков по методике «Мосэнергоремонт», балльность структуры оценивалась визуально с помощью микроскопа ММУ-3. Из металла контролируемых участков труб были подготовлены микрошлифы с последующим травлением. Места отбора шлифов показаны на рисунке. Металлографический анализ проводился в лабораторных условиях с использованием микроскопа МИМ-7, результаты которого представлены в таблице 1.

Одновременно с металлографическими исследованиями проводилось измерение твердости металла паропровода переносным твердомером ТПШ-2. Результаты замеров твердости и механические свойства, определяемые из полученных значений эмпирическим путем, приведены в таблице 2.

Карбидный анализ проводился капельным методом. Места отбора проб проводились согласно вышеприведенной схеме. Результаты полученных данных приведены в таблице 3.

В результате полученных данных следует отметить, что периодическое применение подобных экспериментов в процессе различного вида контролей позволит в первом приближении прогнозировать остаточный ресурс работоспособности теплотехнического оборудования исходя из изменения структурно-фазового состояния и механических свойств.

Таблица 1 – Балльность и микроструктура стали 12Х1МФ контролируемых участков

№ п/п	Микроструктура металла в баллах	Описание микроструктуры
1	5	Феррит + 15-20 % участков сорбита отпуска и перлита
2	4	Феррит + 15-20 % участков сорбита отпуска и перлита
3	7	Феррит + карбиды в виде цепочек по границам зерен
4	6	Феррит + 5-15 % участков сорбита отпуска и перлита
5	6	Феррит + 5-15 % участков сорбита отпуска и перлита
6	4-5	Феррит + 15-20 % участков сорбита отпуска и перлита
7	4-5	Феррит + 15-20 % участков сорбита отпуска и перлита
8	6	Феррит + 5-15 % участков сорбита отпуска и перлита
9	3-4	Феррит + 25-30 % участков сорбита отпуска и перлита
10	6-7	Феррит + 5-15 % участков сорбита отпуска и перлита
11	6	Феррит + 5-15 % участков сорбита отпуска и перлита
12	7	Феррит + карбиды в виде цепочек по границам зерен
13	5	Феррит + 15-20 % участков сорбита отпуска и перлита
14	6	Феррит + 5-15 % участков сорбита отпуска и перлита
15	3	Феррит + 25-30 % участков сорбита отпуска и перлита
16	4	Феррит + 15-20 % участков сорбита отпуска и перлита
17	4	Феррит + 15-20 % участков сорбита отпуска и перлита
18	6	Феррит + 5-15 % участков сорбита отпуска и перлита
19	5-6	Феррит + 5-15 % участков сорбита отпуска и перлита

Таблица 2 – Механические свойства образцов

№ точки замера	Диаметр отпечатка, м×10 ³	Твердость, НВ	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Относительн. сужение, %
1	2	3	4	5	6
1	4,95	146	342	555	55,8
1	2	3	4	5	6
2	4,90	149	351	565	55,5
3	5,1	137	312	514	57,3
4	4,85	152	356	571	55,3
1	2	3	4	5	6
5	5,0	143	330	536	56,4
6	5,1	137	312	514	57,3
7	5,1	137	312	514	57,3
8	4,8	156	363	583	55
9	5,0	143	330	536	56,4
10	5,1	137	312	514	57,3
11	5,05	140	324	527	56,7
12	5,1	137	312	514	57,3
13	5,05	140	324	527	56,7
14	5,25	128	300	527	56,7
15	5,15	134	312	514	57,9
16	5,15	134	312	514	57,9
17	4,8	156	363	583	55,0
18	5,15	134	312	514	57,9
19	5,2	131	306	507	57,6

Таблица 3 – Результаты карбидного анализа

Номера проб	C _к /Mo(%)	C _к /Cr(%)
1	2	3
1	43,5	22,2
2	45,6	22,2
3	31,2	13,2
4	37,2	19,4
1	2	3
5	39,4	17,4
6	37,1	19,0
7	37,8	15,6
8	39,2	18,5
9	43,5	22,7

Номера проб	C _к /Mo(%)	C _к /Cr(%)
10	41,7	34,1
11	37,0	30,3
12	35,8	23,9
13	41,8	24,2
14	41,5	22,2
15	39,3	18,8
16	39,7	23,0
17	38,5	26,6
18	34,1	22,2
19	31,9	17,2

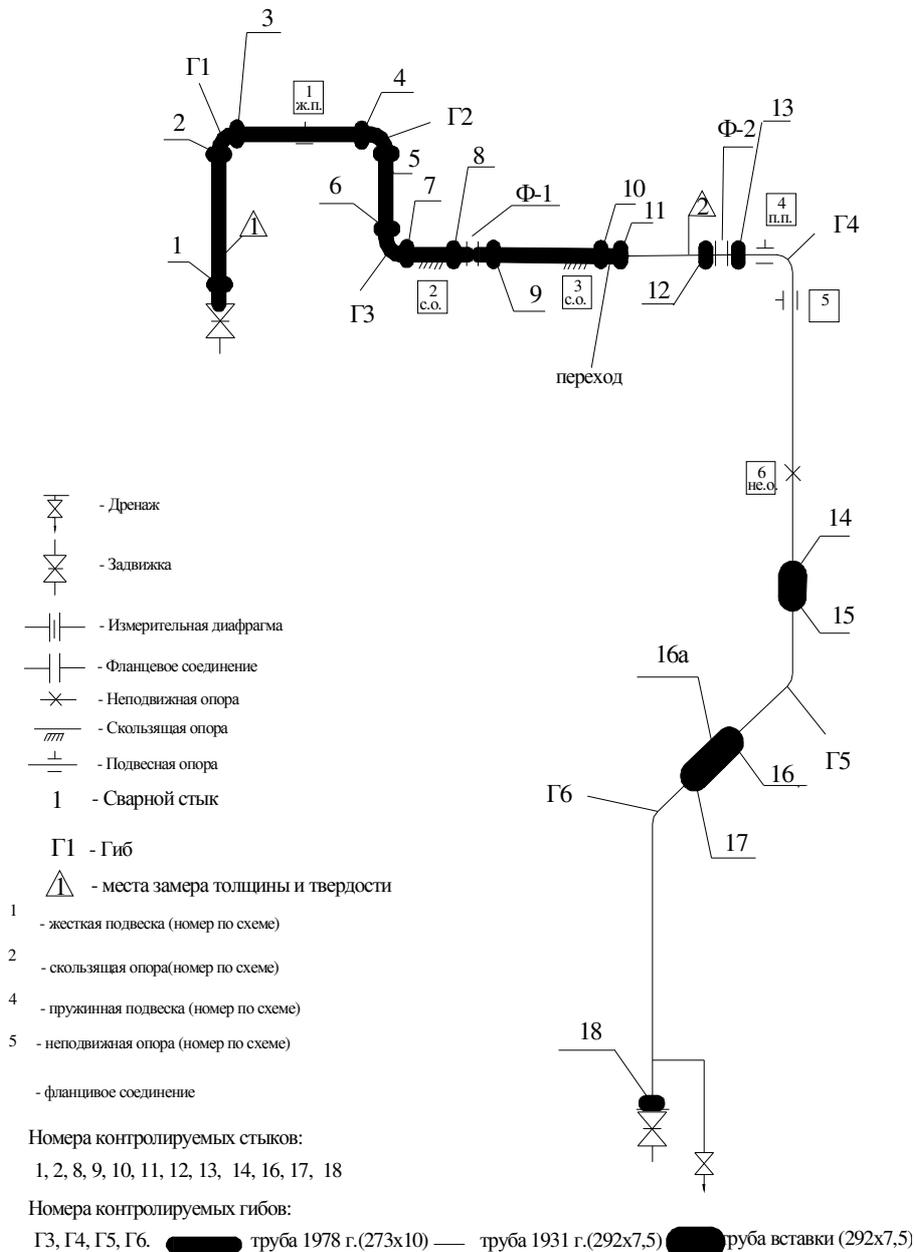


Рисунок – Общая схема паропровода

В.А. Петрова, В.И. Петров, А.Ф. Софрошенков

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

ФОРМИРОВАНИЕ ГРАДИЕНТНЫХ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА СОСТАВНОГО СВАРНОГО ИНСТРУМЕНТА

Составной сварной инструмент, работающий в условиях знакопеременных циклических нагрузок, должен обладать высокими стойкими свойствами и трещиностойкостью. Достижение оптимальных характеристик рассмотрены с позиций формирования градиентных структурно-фазовых состояний, возникающих как в процессе сварки, так и при различного вида упрочнении комбинированного инструмента и его составляющих сталей

Градиентные структуры, которые характеризуются неоднородностью одного или нескольких параметров вдоль некоторого направления, формируются при термической и химико-термической обработке изделий, а также при обработке металлических материалов методами высокоинтенсивных технологий. Особое место в создании градиентных структур занимают процессы сварки и наплавки, а при использовании в данном случае разнородных сталей градиентность выражается наиболее ярко.

Контактная сварка является одним из наиболее распространенных и быстро развивающихся способов получения неразъемных соединений самых разнообразных материалов в широком диапазоне толщины и сечений. Объектом исследования являлся составной инструмент (как экономически более выгодный), полученный стыковой контактной сваркой быстрорежущей стали Р6М5 или Р6М5К5 (рабочая часть) и углеродистой стали 45 или У7 (хвостовая). Стыковая сварка оплавлением осуществлялась на установке СА-2, которая предусматривала соединение деталей по всей плоскости их касания под воздействием нагрева и сжимающего усилия. При сближении деталей непрерывно возникают и разрушаются контакты-перемычки с выбросом частиц и паров металла и образованием на торцах равномерно расплавленного слоя, т.е. происходит процесс оплавления торцов. При осадке расплавленный и перегретый металл с окислами выдавливается из стыка деталей, образуя сварное соединение, а металл околостыковой зоны деформируется с характерным искрив-

лением волокон, образуя усилии и грат в виде окисленного и перегоревшего металла [1].

Температура нагрева характеризует способность металла к пластической деформации, а давление – степень деформации неровностей в зоне межатомного воздействия. Минимально допустимая температура сварки зависит от величины упругих сил, разрушающих соединение после снятия нагрузки, а максимальная определяется пережогом, оплавлением границ зерен и насыщением газами. Давление при осадке должно быть оптимальным, т. к. при большом усиливается дробление зерен, а при малом давлении возможны поры.

Градиентное структурно-фазовое состояние при стыковой сварке характеризуется быстрым и концентрированным нагревом ограниченного объема металла в диапазоне температур от комнатной до сварочной, часто равной температуре плавления. Структурные изменения при этом происходят в соответствии с общими закономерностями термической обработки и могут оцениваться по диаграмме состояния сплава Fe – Fe₃C.

При малом переохлаждении (например, при сварке горячих заготовок) образуется перлит, а с его повышением – сорбит, троостит или бейнит, представляющие собой смесь более дисперсного феррита и цементита. При очень большом переохлаждении образуется мартенсит с микротвердостью в эвтектоидной стали около 6500 Мпа [2].

Преобразование перлита в аустенит при реально осуществимых и целесообразных скоростях сварки происходит посредством диффузии углерода. Скорость его растет с увели-

чением контакта между структурными составляющими стали и уменьшается из-за избыточных фаз (феррита в доэвтектоидной стали, цементита в заэвтектоидной). Большинство карбидов в условиях сварки растворяется быстро, однако из-за трудностей диффузионного выравнивания количества углерода в сплаве после охлаждения наблюдаются участки с неоднородным мартенситом.

Аустенит при охлаждении превращается в феррит и карбиды с максимальной скоростью в определенном температурном интервале. При температурах ниже температур наименьшей устойчивости аустенита диффузионное накопление большого количества углерода (6,67 %) в цементитных пластинах замедляется, а при мартенситном превращении прекращается полностью, и углерод переходит в образующийся мартенсит.

Быстрый нагрев низкоуглеродистой стали обуславливает превращение в аустенит в первую очередь перлита, а затем феррита. Если длительность нагрева недостаточна для выравнивания по углероду аустенита, то при охлаждении одновременно с образованием участков феррита возможно образование участков мартенсита.

Таким образом, в процессе образования градиентных структур при сварке можно выделить несколько участков. Так, сварное соединение сталь Р6М5 – сталь У7 после изотермического отжига имеет пять участков [3]. Участок 1 – основной металл: углеродистая сталь У7 с феррито-перлитной структурой, микротвердость которой около 1660 Мпа. Участок 2 – светлая нетравящаяся полоска со структурой феррита (~ 1210 МПа); наличие обезуглероженного слоя объясняется гради-

ентом концентрации углерода в твердом растворе. Микроструктура участка 3 представляет собой перлит с игольчатыми включениями феррита (1340 МПа), появление которого связано с ускоренным охлаждением жидкой фазы при соприкосновении с более холодными слоями металла. Участок 4, со структурой сорбитообразного перлита (вследствие относительно высокой скорости охлаждения) переходит в основной металл (участок 5) – быстрорежущую сталь Р6М5, имеющую структуру сорбита, первичных и вторичных карбидов. Твердость двух последних участков составляет 2150 – 2180 Мпа.

Проблема повышения надежности и долговечности инструмента, работающего в условиях знакопеременных циклических нагрузок, связана с повышением сопротивляемости металла усталостному разрушению, то есть зарождению и росту усталостной трещины, распространение которой может происходить не только по сварному шву, но и по участку, граничащему с основной сталью. Поэтому актуальным является оценка трещиностойкости как сварного соединения в целом, так и его составляющих сталей. Результаты испытаний представлены в таблицах 1,2.

Приведенные результаты показывают, что в углеродистой стали с увеличением содержания углерода существенно ухудшаются показатели трещиностойкости. Содержание кобальта в быстрорежущей стали влияет на трещиностойкость неоднозначно: с одной стороны, уменьшаются значения вязкости разрушения, с другой – развитие трещины происходит также с меньшей скоростью.

Таблица 1 – Параметры трещиностойкости свариваемых сталей

Марка стали	Зависимость Пэриса dI/dN , м/цикл	K_{IC} , МПа м ^{1/2}	K_{max} , МПа м ^{1/2}
45	$2,680 \cdot 10^{-12} \cdot \Delta K^{2,53}$	47,16*	-
Р6М5	$8,850 \cdot 10^{-12} \cdot \Delta K^{2,79}$	24,58	37,14
У7	$1,150 \cdot 10^{-14} \cdot \Delta K^{4,76}$	18,89	26,65
Р6М5К5	$2,058 \cdot 10^{-12} \cdot \Delta K^{2,97}$	19,31	26,11
* – вязкость разрушения соответствует страгиванию трещины			

Таблица 2 – Параметры трещиностойкости сварных соединений

Сварное соединение	Зависимость Пэриса dl/dN , м/цикл	K_{IC} , МПа м ^{1/2}	K_{max} , МПа м ^{1/2}
Сталь Р6М5К5 – сталь У7	$2,361 \cdot 10^{-14} \cdot \Delta K^{4,42}$	19,13	28,01
Сталь Р6М5 – сталь 45	$1,091 \cdot 10^{-12} \cdot \Delta K^{3,18}$	21,87	25,34

Из диаграмм нагрузка – раскрытие берегов трещины, полученных при долоте образцов с трещиной углеродистых сталей, следует, что действуют различные механизмы разрушения: вязкий для стали 45 и вязко-хрупкий для стали У7. Сталь 45 не разрушилась до конца, поэтому определен только K_C , соответствующий страгиванию трещины. Что касается разрушения стали У7, то на диаграммах четко выявляются два максимума. Быстрорежущие стали разрушались хрупко и имели один максимум.

Как следует из таблицы, трещиностойкость сварного соединения стали Р6М5 выше, на что указывает меньшая скорость роста трещины и переход ее в стадию нестабильного развития при более высоком значении вязкости разрушения K_{IC} .

При изучении влияния содержания углерода одной из свариваемых сталей установлено, что наибольшим сопротивлением разрушению обладает сварное соединение сталь Р6М5 со сталью 45, чем со сталью У7, в диапазоне размаха коэффициента интенсивности напряжений от 30 до 50 МПа·м^{1/2}. Изменение содержания углерода данных марок стали практически не сказывается на процессе развития трещины в ее начальной стадии.

Наличие градиента температур, характерное для большинства методов сварки при нагреве изделия, затрудняет свободное тепловое расширение отдельных его участков. Поэтому при сварке в месте соединения возникают упруго-пластические деформации, а после окончания процесса неизбежно появление поля остаточных напряжений. Назначение термической обработки сварного изделия имеет две цели: снятие остаточных напряжений (стабилизирующий отжиг) и обеспечение требуемых эксплуатационных свойств инструмента (закалка и отпуск).

На трещиностойкость стали оказывают влияние параметры режима технологического процесса, в том числе и температура вылеживания заготовок после сварки перед отжигом. Быстрорежущая сталь Р6М5 после оконча-

тельной обработки оказалась более трещиностойкой при $t_{\text{выл}} = 500 - 550$ °С и менее – при 650 °С.

Температура вылеживания оказывает влияние на твердость быстрорежущих сталей. Большой разброс значений имели стали после отжига, причем при минимальной твердости или на много превышающей допустимую ГОСТом (сталь Р6М5К5) получали и низкие значения твердости после закалки и отпуска, хотя они соответствовали техническим требованиям (за исключением стали Р18). Анализ твердости сталей Р6М5 и Р6М5К5 показал, что наблюдается тенденция к ее снижению при 500 – 550 °С и повышению при 650 – 750 °С. Для сталей Р6М5Ф3 и Р18 либо твердость изменялась незначительно (первая), либо не изменялась вообще (вторая) в рассматриваемом интервале температур.

Исследование градиентных структур, полученных в процессе упрочняющих обработок составляющих сварного инструмента, имело целью в дальнейшем повышение его стойкости и твердости. Работа проводилась в двух направлениях – это получение поверхностно упрочненных слоев в результате совместного теплового и химического воздействия (химико-термическая обработка) и упрочнение поверхности углеродистых сталей с помощью мощных концентрированных потоков энергии: электронный луч, лазерное излучение.

Исследование трещиностойкости упрочненной стали Р6М5, полученной азотированием и эпиламинированием с учетом температуры вылеживания, не дало положительного результата, за исключением частных случаев. Так, эпиламинирование предпочтительнее закалки только при $t_{\text{выл}} = 650$ °С и при этой же температуре, если ΔK выше 12 МПа·м^{1/2}, – азотирование. При сравнении эпиламинированного и азотированного слоя – эффективнее первый. Азотированная сталь Р6М5К5, хотя имела твердость выше, чем сталь Р6М5: 67,8

и 66,3 HRC соответственно, но ее трещиностойкость оказалась значительно ниже.

Сформированная упрочненная зона в результате лазерного легирования стали 20 обладала высокой твердостью и износостойкостью. Для повышения усталостной прочности сталь была подвергнута дополнительно низкотемпературному азотированию. После испытаний на трещиностойкость вязкость разрушения повысилась более чем в 2 раза по сравнению с лазерной химико-термической обработкой (ЛХТО).

Изучалось также влияние нитроцементации на сопротивление разрушению сталей 20X и 38X2МЮА, варьируя время выдержки. Трещиностойкость увеличивалась при выдержке в течение 1 часа, особенно стали 20X, значения вязкости разрушения ($K_C = 44,1 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$; $K_{\text{max}} = 52,7 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$) которой примерно в 2 раза превышали данный параметр для стали 38X2МЮА. Сталь 20X после азотирования являлась более трещиностойчивой только при низких значениях ΔK (менее $20 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$). В отличие от нитроцементированных азотированные образцы при долоте не разрушались полностью, определенная при этом вязкость разрушения, соответствующая страгиванию трещины, составляла $38,2 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ и также превышала значения K_C стали 38X2МЮА после нитроцементации.

Высокое значение вязкости разрушения $67,6 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ и большую трещиностойкость стали У10 после лазерного упрочнения обеспечивал режим при мощности излучения 2,0 кВт и скорости движения образца 4,0 мм/сек, при этом твердость составляла 63

HRC, что соответствовало твердости быстрорежущих сталей. Вязкость разрушения стали 20 после ЛХТО и азотирования составляла $67,9 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ и практически совпадала со значением K_C стали У10 после ЭЛО.

Исследование покрытий двух систем Ni-Ti и Fe-Cr-Mn-V-C-B-Si выявило преимущество второго в отношении параметров трещиностойкости, особенно при циклическом нагружении. При долоте действовали разные механизмы разрушения: для покрытия Fe-Cr-Mn-V-C-B-Si – слияние микропор ($K_C = 32,9 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$), для покрытия Ni-Ti – внутризеренный скол ($K_C = 27,5 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$). Микротвердость покрытия Ni-Ti составляла $\sim 11500 \text{ МПа}$ и превышала значение второго ($\sim 10000 \text{ МПа}$).

Таким образом, предложенные виды упрочнения поверхности быстрорежущих сталей мало эффективны с точки зрения повышения трещиностойкости. Упрочненные углеродистые стали могут быть использованы как альтернатива быстрорежущих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чулочников П.Л. Контактная сварка / П.Л. Чулочников. – М.: Машиностроение, 1977. – 177 с.
2. Кабанов Н.С. Технология стыковой контактной сварки / Н.С. Кабанов, Э.Ш. Слепак. – М.: Машиностроение, 1970. – 264 с.
3. Петров В.И. Определение дефектности стыковых сварных соединений при рихтовке изделий / В.И. Петров, В.А. Кузнецова, Н.А. Чельшев // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1986. – № 10. – С. 69-72.

В.Р. Микрюков, А.П. Семин, Ю.Ф. Иванов*, А.Б. Юрьев**, В.Я. Чинокалов**

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

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

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

ДЕГРАДАЦИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНОЙ АРМАТУРЫ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Методами современного физического материаловедения выполнен комплекс исследований эволюции механических свойств и структурно-фазовых состояний арматуры из среднеуглеродистой стали при эксплуатации железобетонных конструкций до 50 лет.

Особенностями эксплуатации железобетонных конструкций фундаментов в промышленных зданиях и сооружениях являются значительные сезонные перепады температуры, давления, блуждающие токи, неблагоприятная окружающая среда и т.д., приводящие к накоплению повреждений в металлах. Проблема надежной безотказной службы таких конструкций имеет первостепенное значение. Формирование и развитие дефектов в металлах при длительной эксплуатации может привести к деградации механических свойств и в конечном итоге к разрушению с катастрофическими последствиями. Задача исследования изменения структуры, фазового состава, дислокационной субструктуры, механических свойств строительной арматуры в процессе длительной работы является актуальной как с точки зрения установления физической природы их деградации, так и разработки рекомендаций и прогнозирования безопасных сроков службы [1].

В настоящей работе методами металлографии травленого шлифа (поперечного и косого), сканирующей (фрактография поверхности разрушения при одноосном растяжении) и просвечивающей (метод экстрактных реплик и тонких фольг) электронной микроскопии [2-4] и определения механических свойств выполнены исследования исходного(текущее производство) и извлеченных из железобетонных конструкций стержней (срок эксплуатации 3-50 лет в качестве каркаса фундаментных блоков промышленных зданий и сооружений), соответствующих стали марки 35ГС. Для целей настоящего исследования образцы

арматуры брались непосредственно из конструкций, где они находились в напряженном состоянии и подвергались одноосному растяжению напряжением 220 МПа [1].

Анализ зеренной и тонкой дефектной структуры осуществлен методами металлографии травленого шлифа (МИМ-10), сканирующей электронной микроскопии (Tesla 301), электронной дифракционной микроскопии (ЭМ 125, ЭК 125к), рентгеноструктурного анализа (ДРОН-4).

Особенностями металлографического исследования являлись выполненные под углом 15° к оси стержня микрошлифы. Это было обусловлено необходимостью выявления структурно-фазовых изменений в поверхностном слое.

Изображения тонкой структуры материалов были использованы для классификации дислокационных субструктур, определения объемной доли, скалярной и избыточной плотности дислокаций, амплитуды кривизны-кручения кристаллической решетки[5,6]

В таблице приведены результаты механических испытаний арматуры после различных сроков эксплуатации. Видно, что эксплуатация в течение первых 25 лет не приводит к значимым изменениям служебных характеристик стали ($\sigma_{\text{в}}$, $\sigma_{0.2}$, δ_{max}) – арматура соответствует требованиям класса прочности А-III по ГОСТ 5781. После эксплуатации в течение 40 лет прочностные свойства стали, опускаются к нижней границе требований стандарта, а через 50 лет снижаются до уровня класса АVII.

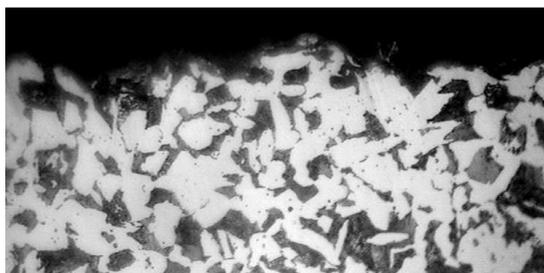
Таблица – Изменение механических свойств арматуры при эксплуатации.

Срок эксплуатации, года	Класс прочности	Механические свойства			
		Состояние поставки	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_{max} %
3	A500C	термоупрочненная	574	624	4,6
4	A400C	термоупрочненная	494	600	24,9
6	АП	горячекатаная	454	642	23,3
20	At600	термоупрочненная	754	906	9
25	АП	горячекатаная	443	680	19,1
35	АП	горячекатаная	450	650	7,5
40	АП	горячекатаная	320	535	10,7
45	АП	горячекатаная	411	527	17,6
50	АП	горячекатаная	342	528	7,3

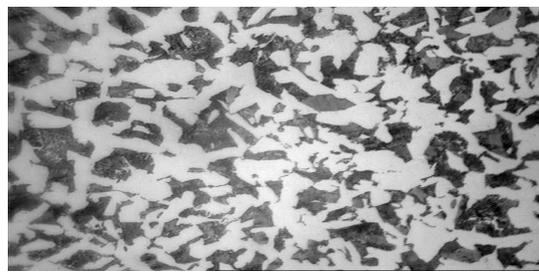
При этом значения предела прочности уменьшаются в 1,3 раза, предела текучести – в 1,7 раза и максимального удлинения – в 2,3 раза по сравнению с арматурой текущего производства. Дegradация механических свойств металла при эксплуатации определяется измерениями в структурно-фазовом состоянии. Исследования фазового состава и состояния дефектной субструктуры стали, выполненные методами металлографии и просвечивающей электронной дифракционной микроскопии, показали, что структура образцов арматуры, не зависимо от срока эксплуатации, по всему сечению стержня состоит из зерен феррита и пластинчатого перлита

различной степени совершенства; отмечено частичное обезуглероживание поверхностного слоя, выражающееся в относительном снижении объемной доли пластинчатого перлита.

После эксплуатации в течение 25 лет выявлено диффузионное перераспределение углерода в поверхностном слое арматуры, обусловленное действием внешних напряжений. Последнее способствовало выделению равномерно распределенных по границам и внутри ферритных зерен микро- и наноразмерных частиц карбидной фазы (рисунок 1). Изменения в структуре осевой зоны стержня не обнаруживаются.

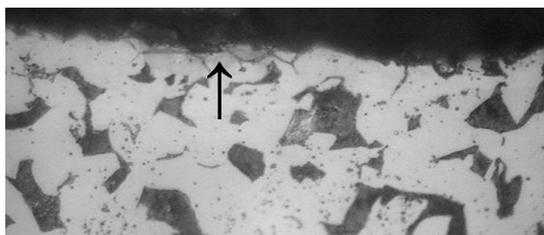


а)

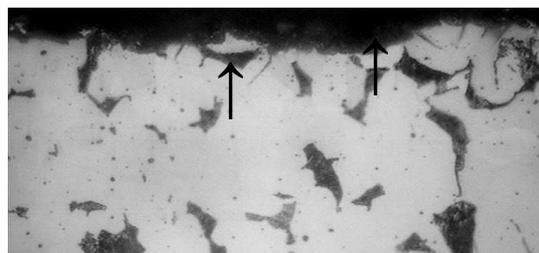


б)

Рисунок 1 – Микроструктура арматуры после 25 лет эксплуатации, а) поверхность, б) осевая зона x1000



а)



б)

Рисунок 2 – Микротрещины на поверхности арматуры после 50 лет эксплуатации по линии стержня x1000

С течением времени размеры и объемная доля частиц второй фазы, расположенных в объеме и по границам зерен, увеличиваются: изменяется их химический состав – наряду с карбидами выявляются окислы железа; фиксируются разрывы сплошности по межфазным границам включение/матрица с образованием микротрещин особенно отчетливо выявляемых в арматуре, срок эксплуатации которой превышал 40 лет (рисунок 2).

Путем анализа поверхности разрушения методами сканирующей электронной микроскопии показано, что предпочтительными местами зарождения микротрещин являются глобулярные частицы второй фазы, расположенные по границам зерен металла в области витого профиля арматуры.

Эти процессы аналогичны выделениям специальных карбидов типа Me_7C_3 и $Me_{23}C_6$ по границам зерен при термобароциклировании малоуглеродистых котельных сталей в присутствии углеводородов [7]. Это приводит к потере когерентной связи с матрицей и деградации эксплуатационных свойств сталей. Путем исследования дефектной субструктуры стали, выполненного методами дифракционной электронной микроскопии тонких фольг установ-

лено, что с увеличением срока эксплуатации возрастает величина скалярной и избыточной плотности дислокаций, амплитуда кривизны-кручения кристаллической решетки (величина дальнедействующих полей напряжений). Концентраторами напряжений максимальной амплитуды являются межфазные границы раздела включение / матрица (рисунок 3).

Выявлено разрушение колоний пластинчатого перлита, усиливающееся с ростом срока службы арматуры и приводящее к образованию цементита глобулярной морфологии, расположенного преимущественно вдоль границ зерен феррита и перлита. Последнее указывает на тенденцию стали при эксплуатации в качестве стержней железобетонных конструкций в каркасах фундаментных блоков промышленных зданий и сооружений к расслоению по углероду с образованием механической смеси матрицы (твердый раствор на основе α -железа) и включений второй фазы (частиц карбидов железа). Одновременно с этим фиксируется образование включений окисной фазы.

Считаем своим приятным долгом выразить признательность В.Е. Громову, Э.В. Козлову, Л.Б. Зуеву за обсуждение и практические замечания.

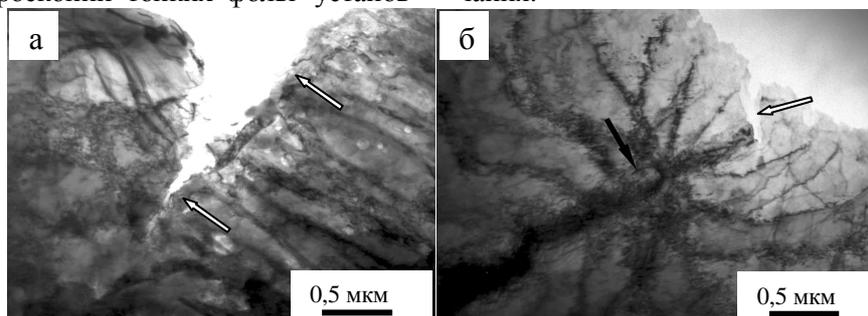


Рисунок 3 – Электронно-микроскопическое изображение структуры стали после эксплуатации ~50 лет. Светлыми стрелками указаны микротрещины, формирующиеся со свободной поверхности прутка; темной – включение второй фазы, расположенное на границе ферритного зерна и являющееся источником полей напряжений, приводящих к изгибу-кручению кристаллической решетки стали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 2.03.01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции». – М. Строиздат, 1989. – 270 с.
2. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. – М.: Металлургия, 1970.
3. Хирш П., Хови А., Николсон Р. И др. Электронная микроскопия тонких кристаллов. – М.: Мир, 1968.
4. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. В 2-х томах. – М.: Мир, 1984.

5. Пискаленко В.В., Данилов В.И., Зуев Л.Б. и др. Дegradация структуры и свойств теплостойких котельных сталей в процессе эксплуатации энергетического оборудования // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2002. – № 6. – С. 60-62.
6. Конева Н.А., Козлов Э.В. Закономерности субструктурного упрочнения // Изв. вуз. Физика. – 1991. – № 3. – С. 56-70.
7. Физика и механика волочения и объемной штамповки // В.Е. Громов. Э.В. Козлов, В.И. Базайкин и др. – М.: Недра, 1997. – 293 с.

УДК 378.048.45

Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, В.Б. Деев, Е.Г. Майсеенок

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

ВОСТРЕБОВАННОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАБОЧИХ КАДРОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РЕГИОНА

Рассмотрено существующее положение на региональном рынке труда Кузбасса, связанное с востребованностью и эффективностью использования рабочих кадров и специалистов на металлургических предприятиях.

Сегодня востребованность и эффективность использования рабочих кадров и специалистов воспринимается учреждениями профессионального образования и кадровыми службами управления персоналом на предприятиях как система качественных и количественных характеристик, отражающих потребность предприятий региона в рабочих и специалистах, обладающих необходимым уровнем подготовки и оптимально вписывающихся в совокупность предъявляемых им профессиональных требований.

С целью изучения проблемы востребованности и эффективности использования рабочих кадров и специалистов металлургического профиля на предприятиях региона был проведено обследование кадрового потенциала 7 основных предприятий региона (ОАО «ЗСМК», ОАО «НКМК», ООО «Сталь-НК», ОАО «НКАЗ», ОАО «Кузнецкие ферросплавы», Абагурского филиала ОАО «Евразруда», ОАО «ГМЗ»). В силу разных причин и обстоятельств не удалось охватить предприятия: ОАО «БЦЗ», ООО «Кокс», металлургическое производство ОАО «Юргинский машиностроительный завод». При этом изучались вопросы, касающиеся потребности в рабочих кадрах и специалистах по металлургическим специальностям и профессиям, возрастной уровень работников, их уровень образования и квалификации, оценка качества подготовки выпускников в учреждениях профессионального образования.

Формирование материала шло в тесном взаимодействии с кадровыми службами предприятий. Представляемые материалы носят оценочный характер, тем не менее удалось выявить некоторые тенденции, позволяющие оценить пути формирования регионального кадрового потенциала, его структуру, организацию профессионального роста рабочих и специалистов, потребности производства в работниках с металлургическим профессиональным образованием металлургического профиля.

Основные пути формирования кадрового потенциала на металлургических предприятиях следующие:

1. Подготовка рабочих кадров внутри предприятия. Это основной путь восполнения рабочих кадров на всех предприятиях.

2. Заказ учреждениям профессионального образования.

Подготовка рабочих кадров на предприятии для своих нужд обусловлена малой долей выпускников профессиональных училищ в регионе, которые не могут покрыть потребность предприятия от общего объема. Кроме того, подготовка рабочих кадров в училищах осуществляется лишь по ограниченному перечню профессий и специальностей, требуемых на предприятии. Что касается заказа учреждениям профессионального образования на рабочих и специалистов, то в последние годы он значительно уменьшен в связи с тем, что каждое предприятие имеет свою особен-

ную специфику развития, и соответственно, кадровую политику.

Одним из начальных этапов формирования кадрового потенциала на предприятии является адаптация молодых рабочих и специалистов к производственной среде. Если выпускники начальных и средних учебных заведений, благодаря тому, что практическая подготовка их в процессе обучения занимает почти половину всего срока обучения, достаточно подготовлены к реальному производству, то выпускники вузов за все время обучения, согласно новым образовательным стандартам, имеют производственную практику продолжительностью всего лишь 8 недель. Безусловно, это катастрофически мало для становления специалиста. Студенту за такой короткий срок не удастся погрузиться в профессиональную среду своей специальности и почувствовать ее особенности и тонкости. Поэтому его практическую подготовку можно считать очень слабой. Кроме того, если выпускникам учреждений начального и среднего профессионального образования по окончании их обучения присваивается квалификационный разряд, то специалист с высшим профессиональным образованием по окончании вуза такого разряда не имеет. В результате специалист, имея в принципе неплохую теоретическую подготовку, испытывают некоторые неудобства со своим профессиональным стартом, так как его не могут поставить работать даже на «рабочее» место. Поэтому адаптации специалистов с высшим образованием к производству необходимо уделять более серьезное внимание.

Основной технологией адаптации выпускников учреждений профессионального образования при устройстве на предприятия является:

- для имеющих высшее профессиональное образование – стажировка.
- для имеющих среднее профессиональное образование - стажировка и наставничество.
- для имеющих начальное профессиональное образование – наставничество.

Основная цель стажировки – проведение отбора молодых специалистов для работы на предприятии, создание условий для их заинтересованности в постоянной работе и освоение содержания будущей работы. Продолжительность стажировки составляет от 3 до 6 месяцев, в зависимости от предприятия. При

прохождении стажировки преследуются следующие задачи:

1. Определение профессиональной пригодности специалистов, принятых на работу по соответствующим должностям.

2. Обучение организационным навыкам, основным обязанностям на соответствующей должности.

По окончании периода прохождения стажировки работнику при условии достижения надлежащего профессионального уровня подготовки присваивается квалификационный разряд.

Одним из условий успешной адаптации выпускников вуза к производству может являться получение ими разрядов рабочей профессии при выполнении существующих квалификационных требований еще во время прохождения практики на металлургических предприятиях. Получение разряда будет являться неплохим критерием необходимой практической подготовки. Конечно, в таком случае необходимо пересматривать изменение сроков практик. Сибирский государственный индустриальный университет намерен пойти именно по такому пути оптимизации практической подготовки студентов. В ближайшее время планируется разработать механизмы взаимодействия с предприятиями на данной основе. При таком варианте процесс адаптации выпускников вуза к профессиональной среде еще более упрощается.

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 процентов от общего числа работающих на предприятии. Количество работников предприятий со средним образованием составляет 17-34 %, с начальным образованием – 28-55 %.

Оценка возрастных категорий на предприятиях показывает достаточно сложную и противоречивую картину, не дающую возможности в настоящий момент однозначно зафиксировать какие-либо доминирующие тенденции. Тем не менее, 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 %. Количество работников со средним профессиональным образованием составляет в возрасте: 18-30 лет

нием составляет в возрасте: 18-30 лет – 1-10 %; 31-40 лет – 4-7 %; 41-50 лет – 3-13 %; 51-60 лет – 1-7 %; свыше 60 лет – около 1 %. Количество работников с начальным профессиональным образованием составляет в возрасте: 18-30 лет – 10-15 %; 31-40 лет – 8-25 %; 41-50 лет – 5-16 %; 51-60 лет – 2-10 %; свыше 60 лет – около 1 %.

Как видно, процент работников в возрасте 18-50 лет, то есть активного трудоспособного возраста с разным уровнем профессионального образования, 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 не пенсию старых работников.

Что касается оценки уровня подготовки в учреждениях профессионального образования выпускников, имеющих профессии и специальности металлургического профиля и принятых на предприятия в 2003-2004 годах, то службы предприятий по работе с персоналом оценивают его как «средний» по всем показателям, и что он в принципе соответствует требованиям современного производства. Вместе с тем отмечается следующее: специалистам с высшим и средним образованием не хватает опыта работы и практической подготовки; рабочим с начальным профессиональным образованием не хватает теоретических знаний. На некоторых предприятиях у специалистов и рабочих отмечается неумение работать в коллективе.

На всех предприятиях отмечается низкий уровень рабочих в плане способности самосовершенствоваться, повышать свои профессиональные навыки, а также низкий уровень владения смежными профессиями.

Также на всех предприятиях уровень владения ЭВМ специалистами, имеющим высшее и среднее профессиональное образование, оценивается как средний.

Анализ качеств работников предприятий показал, что предпочтение отдается следующему ранжированию критериев в порядке убывания значимости:

Для руководителей и специалистов:

1. высокий уровень профессионализма.
2. активность, самостоятельность, инициативность.
3. способность учиться, самосовершенствоваться.
4. ответственность.

5. умение работать в коллективе.

Для рабочих:

1. дисциплинированность.
2. хорошее здоровье.
3. аккуратность.
4. ответственность.

Организация профессионального роста работников металлургических предприятий традиционно проходит по следующим направлениям:

- для рабочих: получение смежной профессии или переобучение. Благодаря профессиональному росту, уровень квалификации рабочих металлургических профессий в среднем по предприятиям достаточно высокий (5-6 разряд) и составляет в процентах от общего числа рабочих 50-90 %.
- для специалистов: стажировки и обучение на различных курсах повышения квалификации при предприятии.

При оценке потребности производства в работниках большинство предприятий региона в той или иной степени прогнозируют свои ежегодные потребности в квалифицированных кадрах и специалистах на краткосрочный период. Оценка потребности металлургических предприятий в рабочих кадрах и специалистах показала следующие тенденции:

1. Подготовка рабочих кадров внутри предприятия – является основным источником восполнения рабочих кадров на предприятии. Обеспечение потребности может происходить за счет переобучения рабочих, освобожденных вследствие реструктуризации предприятия. Например, на ОАО «ЗСМК» потребность рабочих в ближайшие 3-5 лет планируется уменьшить в 2,5 раза, на ОАО «ГМЗ» потребность в рабочих на ближайшие 3-5 лет планируется уменьшить на 20 %.

2. Потребность других предприятий региона в рабочих кадрах в ближайшие 3-5 лет сохранится без значительных изменений.

3. Потребность предприятий региона в квалифицированных кадрах, имеющих среднее образование, может также сократиться. Очевидно, это связано с тем, что предпочтение при наличии вакансий отдается специалистам с высшим профессиональным образованием, которыми региональный рынок труда достаточно насыщен. Так, на ОАО «ЗСМК» потребность работников со средним образованием в ближайшие 3-5 лет планируется уменьшить в 3 раза. В этом списке исключение составляет ОАО «ГМЗ». На этом пред-

приятии планируется увеличение потребности персонала со средним образованием, что, очевидно, связано с увеличением объема производства, а также особенностями территориального удаления города Гурьевска от Новокузнецка, в результате которого специалисты с высшим образованием, подготовленные в СибГИУ, не желают перемещаться на такое расстояние для работы.

4. Потребность предприятий в специалистах с высшим профессиональным образованием сохранится в ближайшие 3 года. Однако эта потребность носит скорее текущий характер и связана с естественной заменой кадров. Здесь опять исключение составляет ОАО «ЗСМК». Потребность работников с высшим образованием на этом предприятии в ближайшие 3-5 лет планируется уменьшить в 3 раза.

5. На многих предприятиях появились службы оценки и развития персонала, которые и производят оценку потребности в рабочих и специалистах, исходя из планов развития предприятия.

6. СибГИУ продолжает традиционно оставаться основной кузницей кадров для предприятий металлургического профиля Кузбасса. Об этом свидетельствует анализ данных по административно-управленческому персоналу предприятий, который показал, что количество «управленцев», получивших образование в университете, составляет от общего числа руководящего персонала на предприятии:

- на ОАО «ЗСМК» – 73 %.
- на ОАО «НКМК» – 82 %.
- на ООО «Сталь-НК» – 88 %.
- на ОАО «Кузнецкие ферросплавы» – 96 %.
- на ОАО «НКАЗ» – 75 %.
- на ОАО «ГМЗ» – 17 %.
- на Абагурском филиале ОАО «Евразруда» – 37 %.

Приема на металлургические предприятия в данное время 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 – прием». На этом основании определение каких-либо количественных прогнозов по имеющимся материалам было затруднено.

Что касается эффективности использования рабочих кадров и специалистов на пред-

приятиях региона, то на сегодняшний день авторам не удалось сформулировать по представленным материалам какой-то обобщенный критерий эффективности. Но следует заметить, что:

1. Инженерный потенциал на предприятии – достаточно избыточный. Часть его растворяется в рабочей среде. Увеличивается количество работников, имеющих высшее профессиональное образование по металлургическим специальностям и работавших на рабочих должностях.

2. Среднее образование на сегодняшний день зачастую не воспринимается кадровыми службами предприятий, предпочитают брать специалистов с высшим образованием.

Подводя итоги, можно отметить следующее:

1. Практически на всех предприятиях существенное количество рабочих кадров для внутреннего использования в производстве подготавливаются в собственных условиях.

2. Прогнозируется снижение 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.

3. Кадрового «голода» для металлургических предприятий не предвидится, так как региональный рынок труда насыщен рабочими и специалистами с соответствующим профессиональным образованием.

4. Необходимо уделять особое внимание практической подготовке специалистов, так как этот вопрос является «узким» местом в профессиональном обучении. В связи с этим необходимым является разработка и реализация новых организационно-содержательных форм проведения практики студентов металлургических специальностей на предприятиях региона. Также целесообразно уделять внимание разработке и внедрению организационных основ получения профильных рабочих профессий студентами металлургических специальностей вузов на предприятиях.

Только эффективные партнерские отношения предприятий с учреждениями профессионального образования в плане воспроизводства и использования рабочих кадров и специалистов, направленные на улучшение качества подготовки специалистов и рабочих, усиление связи науки с производством, помощь в адап-

тации молодежи в профессиональной сфере позволит максимально раскрыть потенциальные возможности молодых специалистов и

рабочих и заложить крепкий фундамент в основу формирования и развития регионального кадрового потенциала.

УДК 331.1

С.М. Кулаков, Е.В. Петров*, А.А. Югов*, Н.Ф. Бондарь

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

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

О КРИТЕРИЯХ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СЛУЖБЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ

Для оценки деятельности служб управления персоналом предложено сбалансированное множество показателей деятельности, учитывающие специфику работы каждой службы и позволяющее подвести итоги деятельности. Формульное выражение показателей построено таким образом, чтобы свести их значения к единой размерности. Интегральный показатель деятельности работы рассчитывается с учетом значимости каждого показателя, а также количества таких показателей для каждой службы.

Проблема оценки эффективности деятельности службы управления персоналом крупных металлургических предприятий (комбинатов) в переходный период является весьма актуальной. Это обусловлено тем, что функции управления персоналом (УП) рассредоточены между различными структурными подразделениями дирекции по персоналу и отсутствует единая методика оценки качества выполнения этих функций. В связи с этим необходимо выработать процедуру оценки, позволяющую определять действительную ситуацию на предприятии в области управления персоналом, выявлять слабые места и своевременно вносить необходимые коррективы. При этом оценка должна осуществляться на протяжении всех фаз управленческой деятельности и затрагивать все функции УП.

В качестве критериальной основы комплексной методики, обеспечивающей своевременный объективный и всесторонний анализ деятельности службы УП, на предприятии предлагается разработать сбалансированное множество показателей (СМП) деятельности. Наличие таких показателей позволяет:

- выделить в деятельности службы УП приоритеты, обеспечивающие реализацию стратегий комбината;

- оценить вклад службы в реализацию этой стратегии;
- контролировать затраты на персонал;
- определять не только итоги деятельности за истекший календарный период, но и опережающие (прогнозные) оценки показателей, то есть те, по которым можно судить, в правильном ли направлении происходит изменения.

Деятельность службы УП предприятия согласно [1] следует ориентировать на следующие четыре группы показателей: показатели экономической эффективности; показатели степени укомплектованности кадрового состава; показатели степени удовлетворенности работников; косвенные показатели эффективности.

В соответствии с перечисленными направлениями были разработаны показатели для оценки деятельности службы управления персоналом ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат».

Таблица – Сбалансированные показатели службы управления персоналом ОАО «ЗСМК»

Сфера деятельности	Ответственное подразделение УП	Основные задачи	Частные показатели результативности / эффективности	Формульное представление показателей
Организация труда персонала и его мотивация	Отдел организации труда и заработной платы	Обеспечение эффективности выполнения планов по труду и применения установленных систем оплаты и стимулирования труда	Средний уровень заработной платы \bar{Z}_k по предприятию в k-ом году	$\bar{Z}_k = \sum_{p=1}^P \frac{S_p \bar{Z}_p}{S}, Q_{11} = \bar{Z}_k / \bar{Z}_{k-1},$ S – количество работников предприятия, S_p – количество работников p-ой категории
			Средний уровень заработной платы \bar{Z}_{pk} по категориям, $p = \bar{1}, \bar{P}$	$\bar{Z}_{pk} = \frac{1}{S_p} \sum_{s=1}^{S_p} \bar{Z}_{sp}, Q_{12} = \bar{Z}_{pk} / \bar{Z}_{p,k-1},$ Z_{sp} – заработная плата персонала данной категории
			Средний уровень выплат \bar{Z}_k^L по компенсациям и социальным льготам в k-ом году	$\bar{Z}_k^L = \frac{1}{S^L} \sum_{s=1}^{S^L} Z_s^L; Q_{13} = \bar{Z}_k^L / \bar{Z}_{k-1}^L,$ Z_s^L – выплаты по l-ым компенсациям и социальным льготам, S^L – количество персонала, получающего выплаты l-го вида
			Относительная среднесписочная численность персонала	$Q_{14} = S_k / S^*_{k-1}$ S^* – плановая численность персонала в k-ом году
			Отклонение ФФ ФОТ от плана	$Q_{15} = \Phi_k / \Phi^*_{k-1}$ Φ_k – ФОТ, Φ^*_{k-1} – плановый ФОТ.
	Производительность труда (руб/чел)		$P_k = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^I G_i \cdot C_i; Q_{16} = P_k / P_{k-1},$ G_i – объем производства i-го вида продукции, C_i – цена i-го вида продукции.	

Удовлетворение потребности в персонале	Отдел подбора и адаптации персонала	Своевременное покрытие потребности комбината в персонале необходимого и качественного состава. Снижение финансовых затрат на привлечение персонала на комбинат	Рейтинг Q_{21} привлекательности (РП) комбината как работодателя на рынке труда	$Q_{21} = RP = \alpha \cdot RPЭ + (1 - \alpha) \cdot RPPr$ $RPPr = \alpha_p \cdot \bar{Z} / \bar{Z}^{max} + (1 - \alpha_p) \cdot \bar{Z}_L / \bar{Z}_L^{max}$ <p>РПЭ – рейтинг относительной привлекательности, определенный экспертным путем; РПPr – рейтинг относительной привлекательности, определенный расчетным путем; α – максимальное значение показателя на другом предприятии; α_p – весовой коэффициент</p>
Управление составом персонала	Отдел подбора и адаптации персонала	Оптимизация качественного и количественного состава персонала	Показатель Q_{22} заполнения вакансий работниками комбината	$Q_{22} = S^B / S^V$ <p>S^B – количество вакансий, заполненных работниками комбината; S^V – общее количество вакансий</p>
		Доля Q_{23} сотрудников, принятых в соответствии с заявками структурных подразделений		$Q_{23} = S^{I/3} / S^3$ <p>$S^{I/3}$ – количество сотрудников, принятых по заявкам; S^3 – количество заявленных сотрудников</p>
		Средняя стоимость найма 1 сотрудника		$\bar{C}^H = \frac{1}{S^H} \sum_{S_{H_i}=1}^{S^H} C_{S_{H_i}} ; Q_{24} = \bar{C}^H / C_{S_{H_i}}^*$ <p>где $C_{S_{H_i}}$, $C_{S_{H_i}}^*$ – фактическая и плановая стоимость найма S_{H_i}-го сотрудника; S^H – количество нанятых сотрудников.</p>
		Средний возраст работника		$\bar{B} = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S B_s ; Q_{25} = \bar{B} / B^*$ <p>B_s – возраст s-го работника, $B^*=60$ лет</p>
		Образовательный уровень персонала: - Доля работников с высшим образованием Q_{26} - Доля со средним профессиональным образованием Q_{27}		$Q_{26} = S_{Bo} / S, S_{Bo}$ – количество работников с высшим образованием $Q_{27} = S_{СПП} / S, S_{СПП}$ – количество работников со средним профессиональным образованием $Q_{28} = S_{НПО} / S, S_{НПО}$ – количество работников с начальным профессиональным образованием.

			<p>-Доля работников с начальным профессиональным Q_{28} образованием</p> <p>-Доля работников, образование которых соответствует Q_{29} должностным инструкциям</p>	<p>$Q_{29} = S_{сд} / S$, $S_{сд}$ – количество работников, образование которых соответствует должностным инструкциям</p> $S_{сд} = \sum \begin{cases} 1, \text{ если } O_s^\Phi \geq O_{ди} \\ 0, \text{ если } O_s^\Phi < O_{ди} \end{cases}$ <p>O_s^Φ – фактическое образование s-го работника;</p> <p>$O_{ди}$ – образование по должностной инструкции.</p>
			<p>Средний стаж \bar{T} работы на данном предприятии</p>	<p>$\bar{T} = \frac{1}{S} \sum_{s=1}^s T_s$ $Q_{210} = \bar{T} / T^*$, T_s – стаж работы s-го работника на данном предприятии; $T^*=40$ лет</p>
			<p>Коэффициент текучести персонала Q_{211} предприятия</p>	<p>$Q_{211} = (Sc.ж + S_{нто} / Scсч) \cdot 100$</p> <p>Sc.ж – численность работников, уволившихся по собственному желанию; S_{нто} – численность работников, уволенных за нарушение трудовой дисциплины; Scсч – среднесписочная численность в отчетном периоде.</p>
			<p>Относительное количество принятых работников Q_{212}</p>	<p>$Q_{212} = S^{п} / S$,</p> <p>$S^{п}$ – количество принимаемых работников за год</p>
			<p>Относительное количество уволенных работников Q_{213}</p>	<p>$Q_{213} = S^{вB} / S$,</p> <p>$S^{вB}$ – количество увольняемых работников за год</p>
			<p>Относительное количество постоянных работников Q_{214} за 5 лет</p>	<p>$Q_{214} = S^{пк} / S$,</p> <p>$S^{пк}$ – количество работников, непрерывно работающих на данном предприятии 5 лет</p>
			<p>Доля Q_{215} уволившихся работников со стажем меньше 3 лет</p>	<p>$Q_{215} = S_3^{вB} / S$,</p> <p>$S_3^{вB}$ – количество уволившихся работников со стажем до трех лет</p>
			<p>Доля Q_{216} сотрудников, удовлетворенных социальными программами</p>	<p>$Q_{216} = S_{усп} / S$,</p> <p>$S_{усп}$ – количество сотрудников, удовлетворенных социальными программами</p>

Развитие персонала	Отдел планирования развития персонала	Формирование работоспособного и высококвалифицированного состава сотрудников, необходимого для достижения целей организации	Доля Q_{31} сотрудников, включенных в кадровый резерв	$Q_{31} = S_{\text{КР}} / S_{\text{КР}}^*$ $S_{\text{КР}}$ – число сотрудников, включенных в кадровый резерв; $S_{\text{КР}}^*$ – нормативное число таких сотрудников
			Доля Q_{32} уволившихся сотрудников из числа кадрового резерва	$Q_{32} = S_{\text{УВКР}} / S_{\text{КР}}$, $S_{\text{УВКР}}$ – количество уволившихся сотрудников из числа кадрового резерва
			Доля Q_{33} назначений сотрудников из числа кадрового резерва	$Q_{33} = S_{\text{НКР}} / S_{\text{КР}}$, $S_{\text{НКР}}$ – количество назначенных из кадрового резерва сотрудников
			Коэффициент Q_{34} текущей кадров среди высокопотенциальных сотрудников $S_{\text{ВПР}}$	$Q_{34} = S_{\text{УВ}}^{\text{ВПР}} / S_{\text{ВПР}}$, $S_{\text{УВ}}^{\text{ВПР}}$ – количество уволенных высокопотенциальных сотрудников
Оценка персонала	Отдел оценки персонала	Поддержание квалифицированного состава персонала на оптимальном уровне. Повышение изобретательской активности персонала	Доля Q_{41} сотрудников, прошедших аттестацию	$Q_{41} = S_{\text{АТ}} / S$, $S_{\text{АТ}}$ – количество сотрудников, прошедших аттестацию
			Количество Q_{42} изобретений на 100 работников предприятия	$Q_{42} = N_{\text{ИЗ}} \cdot 100 / S$, $N_{\text{ИЗ}}$ – количество изобретений за год
			Количество Q_{43} рац. предложений на 100 работников предприятия	$Q_{43} = N_{\text{РАЦ}} \cdot 100 / S$, $N_{\text{РАЦ}}$ – количество рац. предложений за год
			Количество Q_{44} инноваций на 100 работников предприятия	$Q_{44} = N_{\text{ИН}} \cdot 100 / S$, $N_{\text{ИН}}$ – количество инноваций за год
			Количество Q_{46} зарегистрированных в государственном	$Q_{45} = \gamma_1 \cdot Q_{42} + \gamma_2 \cdot Q_{43} + \gamma_3 \cdot Q_{44} + \gamma_4 \cdot Q_{45}$ $Q_{46} = N_{\text{КП}} \cdot 100 / S$, $N_{\text{КП}}$ – количество зарегистрировавшихся в государственном

Обучение персонала	Учебно - производственный центр	Поддержание квалификационного состава персонала на оптимальном уровне	<p>венном фонде компьютерных программ на 100 человек</p> <p>Доля Q_{51} сотрудников, выполнивших годовой план повышения квалификации (ПК)</p> <p>Средние затраты Q_{52} на повышение квалификации 1 работника в год</p>	<p>фонде компьютерных программ за год</p> <p>$Q_{51} = S_{ВПК} / S_{ПК}$,</p> <p>$S_{ВПК}$ – количество сотрудников, выполнивших годовой план ПК,</p> <p>$S_{ПК}$ – количество сотрудников, имеющих план ПК</p> <p>$Q_{52} = (Z_{ПК}^Ф / S_{ПК}) / Z_{ПК}^С, Z_{ПК}^С$ – плановые затраты на повышение квалификации s-го работника</p>
--------------------	---------------------------------	---	---	--

Показатели соответствуют функциям, ответственность за реализацию которых несут конкретные подразделения службы управления персоналом.

Предлагаемое к внедрению сбалансированное множество показателей для оценки деятельности службы УП представляется эффективным, поскольку все основные показатели этого множества конкретны, измеримы, реально достижимы, увязаны с временными интервалами.

Для получения оценок интегрального показателя эффективности работы службы по управлению персоналом предлагается формула:

$$\mathcal{E} = \sum_r \alpha_r \cdot \mathcal{E}_r, \quad \mathcal{E}_r = \frac{1}{n_r} \sum_{j=1}^{n_r} k_{rj} \cdot Q_{rj}, \quad \sum_{j=1}^{n_r} k_{rj} = 1,$$

где α_r – коэффициент важности r -го подразделения; \mathcal{E}_r – эффективность работы r -го структурного подразделения, входящего в службу по управлению персоналом; k_{rj} – весовой коэффициент j -го показателя эффективности работы r -го подразделения; Q_{rj} – оценка j -го показателя для r -го подразделения за истекший период. Важным вопросом при формировании интегрального показателя яв-

ляется оценивание коэффициентов важности α_r и весовых коэффициентов k_{rj} . Это можно осуществить на основе метода Саати, метода Коггера и Ю или метода Черноруцкого И.Г. [2].

Заключение. Эффективность работы службы управления крупного предприятия может быть существенно повышена за счет регулярной количественной оценки результативности работы ее подразделений и соответствующего морального и материального стимулирования. С этой целью предложен комплекс показателей, позволяющих сформировать количественную оценку работы каждого подразделения службы управления персоналом за конкретный период времени, а также оценку эффективности работы всей службы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Управление персоналом организации: Учебник / Под ред. А.Я. Кибанова. – 3-е изд. – М.: ИНФРА – М, 2005. – 638 с.
2. Черноруцкий И.Г. Методы оптимизации и принятия решений: Уч. пособие / И.Г. Черноруцкий. – С-Пб.: Издательство «Лань», 2001. – 384 с.

УДК 621.771:658.513

С.М. Кулаков, А.И. Мусатова, Л.Г. Валишевская

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

О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ФИНАНСОВЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С УЧЕТОМ ЕГО ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Важной задачей управления современным предприятием является ситуационное прогнозирование финансовых показателей его деятельности для различных вариантов планов производства как по объему, так и по сортаменту выпускаемой продукции. Для ее решения построена математическая модель, связывающая производительность и другие факторы с финансовыми результатами.

Черная металлургия является одной из базовых отраслей национальной промышленности России, роль которой сейчас возрастает при формировании итоговых финансово-экономических показателей деятельности предприятий. В настоящее время отечествен-

ная черная металлургия вышла в лидеры по уровню рентабельности продукции (с 16,5 % в 2003 г. до 35 % в 2004 г.). Темпы роста объемов производства конечной продукции – проката увеличились на 40-50 %, увеличился в 2,3 раза сальдированный финансовый резуль-

тат предприятий. На внутреннем рынке повысился спрос на прокат и увеличилось положительное сальдо внешней торговли.

Анализ использования производственных мощностей металлургических предприятий показал, что внутренние резервы повышения эффективности производства используются недостаточно: с одной стороны это связано с техническим уровнем развития предприятий (который отражается на производственно-технических и экономических показателях) из-за значительного износа активной части основных фондов и низкого уровня инвестиций, а с другой стороны – это поиск оптимальных производственных решений при управлении хозяйственной деятельностью предприятия, основанных на рациональном использовании всех его ресурсов, на создании информационно-нормативной базы, включающей финансово-хозяйственные показатели, определенные ситуационными многоуровневыми нормативными моделями.

Основной деятельностью промышленного предприятия, как производственной системы (ПС) является процесс производства продукции определенной номенклатуры, ассортимента и соответствующего качества. Эффективное функционирование ПС обеспечивается совокупностью взаимосвязанных технических, технологических, материальных, кадровых и финансовых ресурсов, необходимых для своевременного выпуска и реализации продукции с целью получения максимальной прибыли.

Производительность ПС – широко известный термин, который в промышленности соотносится: со средствами производства, то есть средствами труда (производительность механизма, машины, агрегата) и предметами труда (производительность по материалу, продукту); с производственными процессами (производительность процесса), а также с трудом человека (производительность труда) и с производственной системой в целом (производительность системы, предприятия, цеха). Все эти разновидности понятия «производительность» связаны между собой, дополняют, а иногда повторяют друг друга и все имеют единую основу, а именно – количество продукции (в единицах массы, объема и т.п.) за единицу времени (час, смену, сутки, месяц, год). Рассматривая производительность производственной системы правильнее интерпретировать ПС, как человеко-технический комплекс, осуществляющий преобразование ис-

ходных материалов в готовые продукты. На производительность ПС влияет множество факторов, как внешних (за пределами ПС), так и внутренних (многоуровневых), основными из них являются: такт, вес, удельный расход материалов; загрузка оборудования, а также режим работы ПС и сортамент продукции. Производительность ПС является одним из главных расчетных элементов при определении показателей объема производства и продаж. Характерные факторы и зависимости между производительностью, технико-экономическими и финансовыми показателями работы ПС приведены на схеме (рисунок).

Объем реализованной продукции (продаж) зависит от следующих основных факторов:

$$РП = f (P, k_{тр}, ФВ, Ц),$$

где P – производительность ПС; $k_{тр}$ – коэффициент трудности продукции; ФВ – фонд времени работы ПС; Ц – рыночная цена продукции.

Производительность ПС имеет множество значений по сортаменту выпускаемой продукции в зависимости от возникающих в период функционирования ПС производственных ситуаций, связанных с технологией, техникой, качеством сырья и материалов, с маршрутами материальных потоков, с количеством работающего оборудования на каждом участке. Поэтому при планировании необходимо их учитывать, причет, в каждой ситуации возможны варианты ее реализации.

Производительность ПС связана (через объем производства) с такими показателями, как: производительность труда и норма выработки, уровень заработной платы; фондоотдача, себестоимость, прибыль и рентабельность; длительность оборота оборотных средств. Из рисунка видно, что производительность ПС оказывает влияние не только на технико-экономические показатели, но и на финансовую устойчивость, ликвидность, платежеспособность и оборачиваемость (деловую активность) предприятия, которые оцениваются следующими показателями: коэффициентами задолженности, автономии, обеспеченности собственными и оборотными средствами, внутреннего долга; степенью платежеспособности; рентабельностью (оборотного капитала и продаж).

На степень платежеспособности оказывают влияние задолженности по кредитам банков и займов, другими организациями, фискальной системе и по внутреннему долгу, которые определяются через коэффициенты,

соответствующие вышеперечисленным видам задолженности $k_1 \div k_5$ по следующим формулам:

$$k_1 = \frac{ДО + K_{кб}}{РП_м}, \quad k_2 = \frac{КЗ}{РП_м}, \quad k_3 = \frac{ЗВ_{фс}}{РП_м},$$

$$k_5 = \frac{КО}{РП_м}, \quad k_4 = \frac{ЗП + ЗУ_о + ДБП + РПР + ПКО}{РП_м}$$

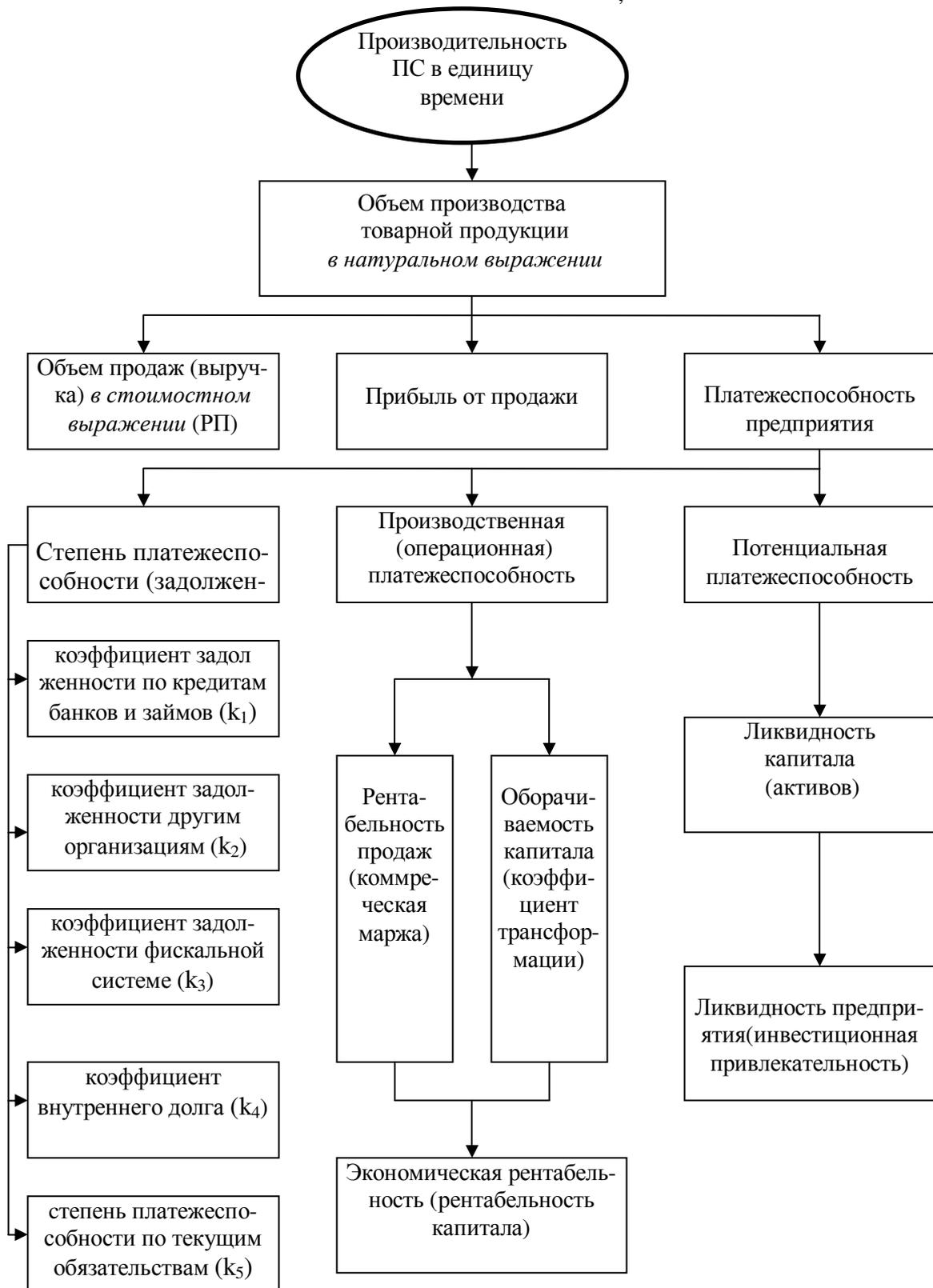


Рисунок – Связь производительности системы с финансово-хозяйственными показателями

где ДО, КО – долгосрочные и краткосрочные обязательства; $K_{кб}$ – краткосрочные кредиты банков; $РП_m$ – среднемесячная выручка предприятия; $KЗ$, $ЗВ_{фс}$, $ЗП$, $ЗУ_d$ – задолженность соответственно кредиторская, фискальной системе, перед персоналом, учредителям по выплате доходов; ДБП – доходы будущих периодов; РПР – резервы предстоящих расходов; ПКО – прочие краткосрочные обязательства.

Для объективной оценки общей платежеспособности предприятия необходимо, в первую очередь, определить производственную платежеспособность, которая предполагает погашение своих периодически возникающих обязательств за счет функционирования ПС своевременно и в полном объеме. Такая платежеспособность не допускает нарушение финансово-хозяйственной деятельности. Стабильная и эффективная работа предприятия достигается при выборе оптимальной стратегии его развития, которая связана с использованием обоснованных нормативных моделей производительности ПС и прогнозирования показателей производственной программы. Основными факторами, влияющими на производственную платежеспособность предприятия, являются: доходность оборотного капитала, рентабельность продаж, оборачиваемость активов и срочность погашения обязательств.

Кроме этого, следует определять потенциальную платежеспособность, которая предполагает возможное погашение своих периодически возникающих обязательств за счет трансформации активов (капитала) предприятия.

В стремлении к успехам промышленным предприятиям приходится решать дилемму финансового менеджмента: рентабельность или ликвидность? В попытках совместить динамичное развитие с наличием достаточного уровня денежных средств и высокой платежеспособностью зачастую приходится «жертвовать» либо одним, либо другим. Дело в том, что ликвидные затруднения могут свидетельствовать не о платежеспособности, а динамичном развитии предприятия, о бурном наращивании объема производства и продаж, о быстром освоении рынка. Таким образом,

чтобы решить данную проблему необходимо определять посылки для предприятия темпы прироста оборота (выручки). Наращивание выручки за счет самофинансирования нужно, возможно, если вся чистая прибыль остается нераспределенной и структура капитала меняется в пользу источников собственных средств. В этом случае темп прироста объема продаж и выручки ограничивается уровнем чистой рентабельности активов. Может происходить наращивание оборота за счет сочетания самофинансирования заимствованиями, если конкретный темп прироста оборота превышает возможный темп прироста собственных средств, тогда приходится привлекать дополнительное внешнее финансирование. Предприятиям на всех этапах их развития приходится разрешать дилемму: либо производственно-финансовая деятельность рентабельна, либо она приносит достаточный уровень ликвидных средств. Так, например, для исследуемого объекта (рельсобалочного цеха одного из металлургических предприятий) слишком бурные темпы роста чреваты ликвидными трудностями, т.к. высокие темпы наращивания оборота влекут за собой повышенные ликвидные потребности и у предприятия возникает дефицит ликвидных средств (13 %; 31 %) при росте оборота соответственно 67 % и 81 % (таблица).

На практике совместить это трудно, но путем моделирования можно найти оптимальное значение (границу) объема производства и продаж, при котором не будет дефицита ликвидных средств. В рассматриваемом примере объем производства можно увеличивать до 1048,8 тыс. т/год (с учетом имеющихся резервов производственной мощности). Если предприятие планирует увеличивать темп роста выпускаемой продукции, тогда оно должно произвести серьезные изменения своей финансовой структуры (соотношение собственных и заемных средств).

Выводы: Предложены модельные соотношения между производительностью ПС и ее финансовыми показателями, позволяющие прогнозировать последствия принимаемых плановых решений по сортаменту и объему выпускаемой продукции. Приведена иллюстративная таблица, основанная на реальных данных о работе рельсобалочного цеха.

Таблица – Расчет излишка (дефицита) ликвидных средств по вариантам планируемого объема производства

Наименование показателей	Единицы измерения	Значения показателей по вариантам				
		базовый	прогнозные варианты			
			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
1. Объем производства	млн. т	0,690	1,0005	1,0488	1,1523	1,2420
2. Коэффициент прироста объема производства	-	1,00	1,45	1,52	1,67	1,81
3. Объем продаж	млн.руб	16018	23226	24347	26750	28992
4. Экономическая рентабельность	%	55,9	60	67	75	82
5. Коэффициент покрытия прироста активов НРЭИ (нетто результатом эксплуатации инвестиций)	-	1,00	1,242	1,075	0,870	0,690
6. Излишки (дефицит) ликвидных средств	%	-	+24,2	+7,5	-13	-31

УДК 669.184:621.3.016.001.8

Н.Ф. Бондарь, А.В. Федосеева

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

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Предложена методика прогнозирования электропотребления, включающая анализ данных, выбор моделей и методов прогнозирования электропотребления. Рассмотрен алгоритм прогнозирования месячного электропотребления. Исследованы особенности суточного и часового потребления электроэнергии. Рассмотрено несколько методов прогнозирования с учетом этих особенностей.

Прогнозирование электрических нагрузок становится все более важными для производителей электроэнергии. Оно необходимо для принятия решений при планировании режимов работы электроэнергетических систем и оперативном управлении ими.

Прогноз потребления электроэнергии крупным промышленным предприятием также немаловажен, так как одной из основных статей затрат практически любого производства является потребление электроэнергии.

Планирование ее расхода связана не только с необходимостью включить эти затраты в себестоимость, но и с тем, что предприятием заранее подается заявка на объем потребляемой электроэнергии, за отклонение от которой начисляются штрафы. Поэтому необходимо, возможно, более точный прогноз электропотребления на предстоящий период.

Для энергоснабжающих организаций (например, ООО «МеталлЭнергоФинанс») большое значение имеет прогнозирование как об-

шего объема электроэнергии поступающего в их распоряжение, так и объема поставки отдельным потребителям. Последние в соответствии с договором на поставку электроэнергии подают заявки на необходимый в предстоящем месяце объем, а служба учета электроэнергии ООО «МЭФ» заранее включает собственный прогноз потребностей потребителей для предварительного планирования собственной деятельности и оценки качества предоставляемых прогнозных заявок.

В настоящий момент прогнозирование потребностей покупателей в электроэнергии на предстоящий месяц осуществляется путем анализа временных рядов данных потребления за предыдущие периоды. Данный подход не удовлетворяет новым условиям торговли электроэнергией. Одной из наиболее важных проблем стоящих как перед поставщиками (ООО «МЭФ»), так и потребителями электроэнергии (в частности ОАО «ЗСМК») является осуществление оперативного (почасового) прогноза расхода электроэнергии.

Анализ данных о предыстории работы комбината и электропотреблении через опорные подстанции показал, что основными факторами, влияющими на месячное электропотребление ОАО «ЗСМК», являются объем выпуска [1] наиболее энергоемких видов продукции и сезонные колебания температуры. Изменение значения суточного электропотребления связано с изменением режимов работы в будние и выходные дни, а также с неравномерным выполнением плана в течении месяца. Основными факторами, определяющими изменение часового электропотребления, является время суток (ночь, день, перемены и обеденное время). Так анализ почасового электропотребления через опорную подстанцию ОП-1 выявил следующее: в 9 часов (во время перемены) происходит резкое снижение потребления электроэнергии в среднем на 20 % зимой и на 24 % летом; с 10 часов до 14 часов наблюдается плавный рост потребления до ночного уровня; в дневное время потребление в летние месяцы сохраняется примерно на том же уровне, что и ночью; в 21 час вновь резко снижается потребление электроэнергии в среднем на 15 % от ночного уровня, что обусловлено пересменой; в ночное время (с 23 часов до 8 часов) электропотребление сохраняется на одном уровне. Электропотребление через опорные подстанции ОП-2 и ОП-3 в дневное время на 8-9 %

выше, чем в ночное; во время перемены оно снижается утром на 4 %, а вечером – на 5-6 %.

Разработанная методика оперативного прогнозирования включает в себя следующие этапы:

1. Анализ специфики электропотребления ОАО «ЗСМК».

1.1. Изучение схемы электроснабжения комбината (выделение основных подводящих линий, опорных подстанций, расположенных на этих линиях, и производств, запитанных с этих подстанций).

1.2. Анализ данных о предыстории работы комбината в целом и электропотреблении на каждой из подводящих линий.

1.2.1. Анализ данных о простоях и крупных ремонтах (исключение непредставительных данных об электропотреблении в часы работы завода в нестандартном режиме).

1.2.2. Анализ данных о электропотреблении за месяц.

1.2.2.1. Анализ данных об объемах выпуска продукции (определение коэффициента линейной связи между выпуском за месяц каждого из основных видов продукции и месячным потреблением).

1.2.2.2. Определение удельных расходов электроэнергии на выпуск продукции.

1.2.2.3. Выявление сезонных составляющих временных рядов.

1.2.2.4. Определение количественных показателей сезонных изменений.

1.2.3. Анализ данных о электропотреблении за сутки.

1.2.3.1. Выявление тенденции изменения суточного электропотребления в течении месяца.

1.2.3.2. Исследование особенностей электропотребления в будние и выходные дни.

1.2.3.3. Определение количественных показателей изменения электропотребления в течение месяца.

1.2.4. Анализ данных почасового электропотребления.

1.2.4.1. Обоснование тенденции изменения потребления в течение суток.

1.2.4.2. Определение количественных показателей изменения электропотребления в течение суток.

1.3. Составление модели потребления электроэнергии по каждой из подводящих линий, ОАО «ЗСМК» в целом и комбината, как совокупности всех опорных подстанций.

2. Выбор моделей и методов прогнозирования электропотребления.

2.1. Составление модели потребления электроэнергии по каждой из подводящих линий, ОАО «ЗСМК» в целом и комбината, как совокупности всех опорных подстанций.

2.2. Выбор и адаптация методов прогнозирования параметров электропотребления.

3. Расчет прогнозируемых значений расхода электроэнергии на заданный период упреждения.

3.1. Прогнозирование общего расхода электроэнергии ОАО «ЗСМК» по отдельным линиям;

3.1.1. Прогноз потребления по каждой из линий в соответствии с моделью электропотребления этой линии.

3.1.1.1. Прогноз месячного электропотребления (на основе пересчета объемов выпуска продукции на расход электроэнергии или выделения тренда и учета сезонных факторов).

3.1.1.2. Прогноз суточного электропотребления (путем разбиения месячного прогноза в соответствии с выявленными тенденциями изменения суточного расхода).

3.1.1.3. Почасовой прогноз электропотребления (путем разбиения суточного прогноза в соответствии с выявленными тенденциями изменения расхода электроэнергии в течение суток).

3.1.2. Прогноз общего почасового электропотребления (комбинация полученных результатов по каждой из линий в соответствии с моделью электропотребления комбината, как совокупности всех опорных подстанций).

3.2. Прогнозирование общего расхода электроэнергии ОАО «ЗСМК» без выделения подводящих линий.

3.2.1. Прогноз месячного электропотребления в целом по комбинату.

3.2.2. Прогноз суточного электропотребления (путем разбиения месячного прогноза в соответствии с выявленными тенденциями изменения суточного расхода электроэнергии).

3.2.3. Почасовой прогноз электропотребления комбината (путем разбиения суточного прогноза в соответствии с выявленными тенденциями изменения расхода электроэнергии в течение суток).

4. Оценка прогноза, то есть определение степени достоверности, точности и обоснованности.

4.1. Расчет ошибки прогноза почасового электропотребления комбинатом при прогнозировании по отдельным линиям.

4.2. Расчет ошибки прогноза почасового электропотребления комбинатом при прогнозировании в целом по заводу.

В качестве исходных данных используются:

- данные об ежемесячном потреблении электроэнергии ОАО «ЗСМК» (по отдельным подводящим линиям и в целом);
- данные о фактических объемах выпуска основных видов продукции (кокс, агломерат, чугун, сталь, прокат, проволока) ОАО «ЗСМК»;
- данные о крупных авариях, ремонтах и вводах нового оборудования на ОАО «ЗСМК»;
- данные о получасовом потреблении электроэнергии ОАО «ЗСМК» (по отдельным подводящим линиям и в целом);
- данные о плане производства основных видов продукции на следующий месяц;
- данные о плановых ремонтах на следующий месяц;
- температурные особенности следующего месяца.

Задача построения прогнозатора решается путем обоснования выбора его структуры, отбора влияющих факторов, оценки весовых коэффициентов для них [2]. Данный подход реализован для прогнозирования месячного электропотребления. Алгоритм прогнозирования [3] учитывает сезонные составляющие временного ряда о потреблении электроэнергии и влияющий фактор – объем производства; представляет собой последовательность следующих шагов:

1. Построение моделей сезонных изменений объемов производства \bar{Y}_i и потребления объемов электроэнергии \bar{X}_i по месяцам

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{k=1}^m X_{ki}}{m}, i = 1, 2, \dots, 12.$$

$$\bar{Y}_i = \frac{\sum_{k=1}^m Y_{ki}}{m}, i = 1, 2, \dots, 12.$$

2. Преобразование временного ряда данных $\{X_{ki}\}; \{Y_{ki}\}$ к соответствующим рядам данных в приращениях:

$$\Delta X_{ki} = X_{ki} - \bar{X}_i; \quad \Delta Y_{ki} = Y_{ki} - \bar{Y}_i,$$

3. Построение модели взаимодействия между объемом производства и расходом электроэнергии.

$$\Delta X_{ki} = F(\Delta Y_{ki}) = a_0 + a_1 \Delta Y_{ki} + a_2 \Delta Y_{ki}^2.$$

Коэффициенты a_0, a_1, a_2 определяются по методу наименьших модулей.

4. Выбор опорного значения

$$\Delta Y_k^* = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \Delta Y_{ki}$$

5. Приведение $\{\Delta X_{ki}\}$ к опорному значению

$$\Delta X_{ki}^* = \Delta X_{ki} - F(\Delta Y_{ki} - \Delta Y_k^*)$$

6. Сглаживание и экстраполяция данных, например, в соответствии с формулой:

$$\Delta X^{\circ}(i+1) = \Delta \tilde{X}(i) = \Delta \tilde{X}(i-1) + \alpha(\Delta X_{ki}^* - \Delta \tilde{X}(i-1))$$

где $\Delta X^{\circ}(i+1), \Delta \tilde{X}(i)$ – экстраполированное и сглаженное значение расхода электроэнергии, l – интервал экстраполяции.

7. Введение поправок с учетом будущих условий на интервале экстраполяции

$$\Delta X'_k(i+1) = \Delta X^{\circ}_k(i+1) + F(\Delta Y_k(i+1) - Y_k^*);$$

$$X'_k(i+1) = \Delta X'_k(i+1) + \bar{X}(i+1)$$

8. Расчет ошибки прогнозирования, например, относительного среднемодульного отклонения прогнозных значений от действительных.

Для расчета значения потребления электроэнергии на предстоящие сутки были использованы несколько методов: на основе экстраполяции сглаженных значений (напри-

мер, с помощью релейно-экспоненциального сглаживания); с распределением месячного потребления по суткам с учетом разницы расхода в выходные и будние дни; комбинированный, с распределением месячного потребления по суткам с учетом разницы расхода в выходные и будние дни и экстраполяцией отклонения от данного распределения.

Значение суточного расхода электроэнергии для ОАО «ЗСМК» может быть определено (аналогично месячному расходу) исходя из данных предыстории общего потребления или как сумма прогнозов потребления по отдельным линиям (опорным подстанциям).

Прогнозирование распределения часового потребления электроэнергии в сутках осуществляется по комбинированному методу на основе распределения суточного потребления с учетом среднего отклонения (полученного из анализа предыстории) в каждый час. При анализе предыстории для определения средних отклонений использованы данные за 5 последних будних дней (для прогноза на будний день) или за 5 последних выходных дней (для прогноза на выходные). прогнозных значений электропотребления отдельными линиями и ОАО «ЗСМК» в целом, а также последующая оценка средне-модульного отклонения прогнозных значений электропотребления от фактических (таблица) показали необходимость использования различных подходов при прогнозировании электропотребления для различных объектов.

Таблица – Средне-модульное отклонение прогноза электропотребления

Электропотребление на объекте:	Прогноз на основе данных за 5 предшествующих суток	Прогноз	
		для будних дней	для выходных дней
«ЗСМК»	3,3 %	2,4 %	1,4 %
ОП-1	7,7 %	7,6 %	4,8 %
ОП-2,3	4,8 %	5,4 %	5,5 %
ОП-4	4,7 %	4,1 %	1,8 %
ОП-5,6,10	7,0 %	6,9 %	1,9 %
Бызово	0,5 %	0,8 %	1,2 %
ОП-7,20	1,4 %	1,2 %	1,4 %
ЗС ТЭЦ	1,9 %	2,0 %	1,2 %

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарь Н.Ф. Прогнозирование удельного расхода электроэнергии в кислородно-конвертерном производстве стали / Н.Ф. Бон-

дарь, С.М. Кулаков, Г.А. Бегишев // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1998. – № 4. – С. 59-62.

2. Авдеев В.П. Прогнозирование длительности мартеновских плавок / В.П. Авдеев,

В.Ф. Евтушенко, С.М. Кулаков, К.И. Изаак // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1969. – № 10. – С. 170-173.

3. Кулаков С.М. Прогнозирование электропотребления Абагурской обогатительной

фабрики / С.М. Кулаков, Н.Ф. Бондарь, А.В. Федосеева // Сборник трудов XII Федеральной научно-практической конференции «Электрификация металлургических предприятий Сибири». – Томск, 2004.

УДК 656.228

М.В. Пургина, Т.П. Воскресенская

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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

В статье рассмотрена проблема оборачиваемости запасов готовой продукции металлургических предприятий, приведена методика определения оптимального размера заказа и общих затрат на создание данных запасов, а также предложен метод распределения продукции в условиях металлургических предприятий без комплектации крупных партий.

В условиях обострившейся конкуренции среди мер, с помощью которых можно обеспечить рационализацию металлургического производства следует выделить снижение длительности производственного цикла и времени хранения запасов готовой продукции в цехах и на складах данных предприятий. Сами по себе запасы готовой продукции составляют значительную долю в оборотном капитале металлургических предприятий. Однако они являются наименее ликвидными краткосрочными активами, средствами, которыми нельзя воспользоваться. Важно отметить, что неправильно определенная величина запасов готовой продукции всегда оборачивается для компаний существенным снижением их прибыли и конкурентоспособности в современных рыночных условиях.

Необходимо отметить, что в настоящее время значительно возросли требования рынка к параметрам изделий. Произошло это вследствие преобладания предложения над спросом, наличия избыточных производственных мощностей и т.д. Отсюда следует, что успеха в конкурентной борьбе может достигнуть тот, кто наиболее рациональным образом развил логистическое управление.

Эта цель достигается путем:

- снижения затрат, связанных с созданием и хранением запасов готовой продукции;
- сокращения времени поставок;
- более четкого соблюдения сроков поставки;
- увеличения гибкости производства, его приспособленности к условиям рынка.

Оптимизация запасов готовой продукции позволяет усовершенствовать методы производства металлургических предприятий, связанные с системой распределения, что приводит к заметному увеличению прибыли на этих предприятиях. Предприятиям все время приходится искать баланс между недостатком и избыточностью запасов готовой продукции (рисунки). Избыточные запасы гарантируют бесперебойность поставок клиентам, но требуют «замораживания» больших ресурсов. В результате это приводит к снижению оборачиваемости средств предприятия и уменьшению числа позиций в ассортименте. Снижение же оборачиваемости для поддержания объема прибыли необходимо компенсировать увеличением цен. Итог – снижение конкурентоспособности по двум из трех перечисленных ключевых факторов.



Рисунок – Недостаточные и избыточные запасы готовой продукции

При недостаточных запасах готовой продукции часто возникает дефицит тех или иных позиций на складе. Итог – упущенная прибыль и снижение конкурентоспособности по третьему ключевому фактору – «бесперебойность поставок» [1].

Таким образом, оптимизация запасов готовой продукции является резервом, заложенным в рационализацию процессов, обеспечивающих металлургическое производство. Решения, принимаемые руководством предприятия в этой области, в конечном счете касаются каждого отдельного вида товара или предмета хранения, конкретная единица которых, подлежащая контролю, называется единицей учета запасов (е. у. з.).

Учитывая потенциальное значение запасов готовой продукции, исследование логистической системы должно включать аспект управления этими запасами, который конкретизируется в постановке следующих вопросов.

1. Какой уровень запасов готовой продукции необходимо иметь на каждом предприятии для обеспечения требуемого уровня обслуживания потребителя?

2. В чем состоит компромисс между уровнем обслуживания потребителя и уровнем запасов готовой продукции в системе логистики?

3. Какой объем запасов готовой продукции должен быть создан на каждой стадии логистического и производственного процесса?

4. Должны ли товары отгружаться непосредственно с последней точки производственной линии, минуя склад предприятия?

5. Каково значение компромисса между выбранным способом транспортировки и запасами готовой продукции?

6. Каков общий уровень запасов готовой продукции на данном предприятии, связанный со специфическим уровнем обслуживания?

7. Как меняются затраты на содержание запасов готовой продукции в зависимости от изменения дислокации складов?

8. Как и где следует размещать страховые запасы?

Необходимо отметить, что оптимальный уровень запасов готовой продукции по отдельным товарным позициям рассчитывается исходя из прогноза продаж и страховых запасов, необходимых для покрытия рисков. Величина страховых запасов, в свою очередь, должна зависеть от точности прогноза продаж, экономической и маркетинговой значимости товарных позиций и их покупателей.

Во многих случаях определение оптимального размера заказа обеспечивает уменьшение затрат на хранение запасов готовой продукции без потери качества обслуживания.

Оптимальный размер партии поставляемых товаров и, соответственно, оптимальная частота завоза зависят от следующих факторов:

- объем рыночного спроса;
- объем оборота товара на складе готовой продукции.

Критерием оптимальности является максимизация прибыли, успешность металлургического предприятия.

Расходы по доставке и расходы по хранению зависят от размера заказа, однако, характер зависимости каждой из этих статей расходов от объема заказа разный. Расходы по доставке товаров при увеличении размера заказа уменьшаются, так как перевозки осуществляются более крупными партиями и, следовательно, реже.

Текущий запас ресурсов изменяется по пилообразной диаграмме, и при его снижении до уровня точки заказа R необходимо осуществлять повторный заказ. Заказанные изделия будут получены через период, который остается неизменным [2].

Для разработки управления запасами готовой продукции металлургических предприятий необходимо установить функциональную взаимосвязь между интересующими нас переменными. В данном случае нас интересуют общие затраты на создание запасов готовой продукции, которые можно выразить уравнением:

$$TC = DV + (D/Q)A + 0,5QC, \quad (1)$$

где TC – суммарные годовые затраты (тыс. руб.); D – годовая потребность в ресурсе (шт.); V – цена единицы закупаемого ресурса (тыс. руб.); Q – объем заказываемого ресурса (шт.); A – затраты на размещение одного заказа, тыс. руб.; C – годовые издержки хранения единицы среднего запаса ресурса, тыс. руб./шт.; DV – общая стоимость закупки ресурсов, исходя из годовой потребности в них, тыс. руб.; $(D/Q)A$ – годовые затраты на размещение заказов (фактическое количество размещенных заказов D/Q , умноженное на затраты A), тыс. руб.; $0,5QC$ – годовые издержки хранения (средний запас $0,5Q$, умноженный на C), тыс. руб.

Оптимальная величина Q называется экономичным размером заказа (Economic Order Quantity – EОQ) или $Q_{\text{опт}}$. Зачастую затраты на хранение определяются как доля (в процентах) от цены приобретенного ресурса. Для разработки управления запасами готовой продукции металлургического предприятия не-

обходимо определить ту величину заказа $Q_{\text{опт}}$, при которой суммарные затраты минимальны.

Согласно уравнению Уилсона:

$$Q_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{2DA}{C}} \quad (2)$$

Поскольку предполагается, что потребность и время выполнения заказа являются постоянными величинами, резервный (буферный) запас не требуется, и точка повторного заказа R , определяется по формуле:

$$R = aL, \quad (3)$$

где a – средняя дневная потребность в изделиях (постоянная величина); L – время выполнения заказа в сутках (постоянная величина) [2].

Также задача определения оптимального размера заказа может быть решена и графическим методом, в котором график зависимости расходов на транспортировку от размера заказа имеет форму гиперболы. Расходы же по хранению растут прямо пропорционально размеру заказа и представлены на графике прямой. Сложив оба графика, получим кривую, отражающую характер зависимости совокупных издержек по транспортировке и хранению от размера заказываемой партии. Кривая суммарных издержек имеет точку минимума, в которой суммарные издержки будут минимальны. Абсцисса этой точки $Q_{\text{опт}}$ дает значение оптимального размера заказа.

Однако данный график является слишком упрощенным из-за дискретности партий поставок и случайности процесса сбыта по времени, приводящих к дополнительным нагрузкам на систему управления запасами готовой продукции, а также к возникновению дополнительных издержек. В типичном процессе системы управления запасами готовой продукции при переменном сбыте увеличение объема запасов происходит за счет поставки, а снижение – за счет сбыта продукции. Можно также отметить большой размах объема запасов готовой продукции и случайный характер его изменения.

Отсюда следует, что не все затраты на содержание запасов готовой продукции одинаково изменяются с изменением уровня запасов. В самом деле, весьма трудно учесть все эти издержки с большой точностью. Обычно требуется ввести некоторые упрощающие приближения. Будем считать, что мгновенная норма затрат на содержание запасов готовой продукции металлургического предприятия пропорциональна инвестициям в данный момент времени. Коэффициент пропорциональ-

ности обозначим через I и будем называть его коэффициентом затрат на содержание данных запасов.

I имеет размерность – стоимость в единицу времени на единицу капитала, вложенного в запасы и изменяется $0 < I < 1$. Тогда мгновенная норма затрат содержания в запасах за год может быть записана как ICx , где C – стоимость единицы запаса (тыс. руб.), а x – наличный товарный запас (шт.) [3].

Таким образом, затраты на содержание единицы запаса готовой продукции прямо пропорциональны времени его хранения. Предположим, что уровень запасов системы изменялся в течение года. Тогда суммарные годовые затраты на создание запасов готовой продукции составят:

$$TC = IC \int_0^t x \{t\} dt. \quad (4)$$

В конечном итоге, эффективность управления запасами готовой продукции металлургических предприятий зависит от правильной оценки их необходимого объема, которая следует из прогноза величины сбыта, непосредственно влияющей на объем заказа в течение периода и величину запаса продукции в конце. При превышении объема заказа над реальными продажами возникает излишний запас и, как следствие, «омертвление» капитала, создание дополнительных функций для дистрибьюторов, особенно при производстве сортового проката, т.к. он используется преимущественно в строительстве, а строительные объекты разобщены.

Необходимо отметить, что в настоящее время металлургические предприятия ориентируются в основном на крупные партии сбыта и экспортные поставки. В погоне за этим они теряют региональный рынок, что приводит к значительному превышению предложения над спросом. Поэтому следует обратить внимание на более мелких потребителей внутри региона.

Важно также сделать акцент на распределение продукции при помощи автомобильного транспорта, который, в отличие от железнодорожного, является наиболее приспособленным к перевозкам грузов мелкими партиями без комплектации, что способствует сокращению запасов готовой продукции, значительно увеличивает их оборот, и приводит к максимизации прибыли металлургического предприятия. В пользу эффективности использования данного вида транспорта говорит и тот факт, что автомобили все больше эксплуатируются не только на коротких и средних расстояниях, но и на расстояниях до 1600 км – для доставки готовой продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Логистика: Учебник / Под ред. Б.А. Аникина. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 368 с.
2. Терешкина Т.В. Логистический подход к управлению запасами / Т.В. Терешкина // Логистика. – 2002. – № 2. – С. 22-23.
3. Дыбская В.В. Логистика для практиков / В.В. Дыбская. – М.: ВИНТИ РАН, 2002. – 264 с.

К.А. Черепанов, М.В. Темлянец*, А.А. Терре, А.Н. Бибко

Новокузнецкий филиал-институт Кемеровского государственного университета,
г. Новокузнецк

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

К ВОПРОСУ О ПЕРЕРАБОТКЕ И УТИЛИЗАЦИИ БОЯ ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПРИ РЕМОНТАХ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

В статье рассматриваются вопросы вторичного использования огнеупорных материалов, образующихся при ремонтах высокотемпературных металлургических и теплоэнергетических агрегатов. Вторичное сырье обладает рядом положительных свойств, а изготовление на его основе с применением водной керамической вяжущей суспензии огнеупоры по своим характеристикам идентичны шамотным общего назначения.

При ремонтах кладки печей, футеровки конвертеров, ковшей, желобов, обмуровки котлов образуется большое количество отходов – остатков кирпича и фасонных изделий. Известно, что в металлургической промышленности и в меньшей степени в теплоэнергетике к качеству огнеупорных изделий, к их внешнему виду (наличию трещин, сколов и др.) предъявляются очень высокие требования, которые утверждены соответствующими ГОСТами. В связи с этим бывшие в употреблении огнеупорные изделия, т. н. бой огнеупоров в его естественном виде, для кладки печей применять, фактически, запрещено. Во всех случаях этот материал является вторичным сырьем, годным, как показала мировая практика, для изготовления вновь каких либо огнеупорных изделий. Во всех известных технологиях его утилизации он подвергается дроблению, размолу, а полученный порошок является, в дальнейшем, компонентом сырьевой смеси.

В настоящее время в производстве огнеупоров наметились две тенденции: получение огнеупоров повышенного качества и широкое использование боя огнеупорных изделий для изготовления огнеупоров общего назначения и массового производства. Первое направление характерно для известных фирм-производителей огнеупоров, в т. ч. и российских, второе чаще наблюдается на металлургических предприятиях, на которых накапливается основная масса отработанных огнеупорных изделий (в основном кирпича). Сле-

дует, однако, отметить, что и во втором случае могут быть получены (и получают) огнеупоры высокого качества с использованием современных наукоемких технологий, которые, в то же время, являются энерго- и ресурсосберегающими.

Это видно на примере получения неформованных огнеупоров, низко- и сверхнизкоцементных огнеупорных бетонов и особенно бесцементных – керамобетонов [1]. Известно, что подготовленный определенным образом бой огнеупорных изделий по своим физико-химическим характеристикам во многих случаях тождественен исходному огнеупору, поступившему к потребителю с завода по производству огнеупоров, что характерно, например, для материала кладки нагревательных печей (стен, свода и пода). Это означает, что при получении огнеупоров из такого сырья по бесцементной, т. н. «бетонной» технологии, нужно иметь только соответствующую связку для создания необходимой прочности изделия на сжатие и изгиб, поскольку требуемые по ГОСТу характеристики огнеупоров (огнеупорность, температура начала и конца деформации под нагрузкой, термостойкость и т. д.) уже имеются на требуемом уровне основного компонента сырьевой смеси – заполнителя.

Как известно, при изготовлении неформованных огнеупоров, в частности, огнеупорных бетонов, они подвергаются только низкотемпературной сушке, а обжиг таких изделий происходит уже во время их эксплуатации,

причем у керамобетонов прочность на сжатие и изгиб уже после сушки достигает, практически, тех значений, которые имеются у огнеупоров, изготовленных по обычной технологии, т. е. подвергнутых упрочняющему обжигу [2]. Такие высокие характеристики, однако, могут быть получены лишь при применении современных наукоемких технологий производства огнеупорных материалов, основанных, например, на получении низкоцементных и, особенно, бесцементных огнеупоров (в качестве цемента чаще всего используют высокоглиноземистый цемент – ВГЦ [3, 4]. Особое место занимают огнеупоры, в целом – керамические изделия, изготавливаемые на основе керамических вяжущих суспензий [5-7], либо последние в сырьевой смеси в ряде случаев являются клеем-связкой [8, 9]. Эти т. н. керамобетоны (по терминологии Ю. Е. Пивинского), представляющие из себя особый класс огнеупорных (жаропрочных) материалов, обладающие иногда уникальными свойствами [7] по своим термомеханическим характеристикам, в настоящее время начинают широко применяться в промышленности [10, 11].

Следует отметить, что компактирование керамобетонов (огнеупоров на керамической связке) может производиться всеми известными методами: прессованием, виброуплотнением, трамбованием и т. д. Они могут использоваться, также в качестве дисперсных смесей и наливных масс. Таким образом, с точки зрения формообразования керамобетонов нет никаких препятствий, более того, поскольку керамические суспензии обладают тиксотропностью, процессы смешивания компонентов сырьевой смеси, включая сюда и связку, становятся более эффективными и менее энергоемкими.

Проблема рационального использования природных ресурсов (особенно невозобновимых) является одной из острых в промышленности многих стран мира. Это касается не только «бедных» в отношении природных ископаемых стран, например, Японии, но и «богатых» природными ресурсами государств, примером которых является Россия. Ресурсосбережение может реализоваться по различным направлениям, одним из перспективных является рециклинг отходов, возврат их в производство, изготовление из них продукции, имеющей потребительскую ценность. Это, в первую очередь, относится к многотоннажным отходам горнодобывающей, ме-

таллургической промышленности и теплоэнергетики (золы). Возможна и в ряде стран осуществляется комплексная переработка и утилизация хвостов рудообогатительных фабрик, шламов и шлаков металлургического производства. Во многих случаях отходы являются превосходным вторичным сырьем изготовления продукции из которого экологически эффективно и экономически оправдано, что доказывается практикой рециклинга твердых отходов в металлургии.

К этой группе отходов относится и бой огнеупорных изделий, которого на металлургических предприятиях России накоплено уже десятки миллионов тонн. Так, например, на Новокузнецком металлургическом комбинате (НКМК) такого вторичного сырья хранится более 500 тыс.т, а на Западно-Сибирском металлургическом комбинате (ЗСМК) – порядка 450 тыс.т. Повышение эффективности использования боя огнеупоров является одним из путей снижения материалоемкости продукции и экономии первичного сырья, который позволяет добиться снижения расхода топлива, электроэнергии и трудовых затрат. Расчеты показывают, что использование 1 т боя шамотного кирпича способствует экономии 1,5 т огнеупорной глины, 0,15 т условного топлива, 140 кДж электроэнергии (при изготовлении такого кирпича на заводе по производству огнеупорной продукции). Аналогично, если перерабатывать 1 т боя динасовых изделий, то можно сэкономить 1,2 т кварцита, 0,3 т условного топлива, 160 кДж электроэнергии. Следует отметить, что в большинстве случаев на металлургических заводах России из боя огнеупорных изделий, в основном, изготавливаются порошки того или иного вида огнеупора, причем технические условия на такую продукцию разрабатывают сами производители. Здесь следует отметить и такую очень важную особенность продукции, изготавливаемой из боя огнеупоров. Дело в том, что при обжиге огнеупорных изделий и во время их эксплуатации в них протекают химические и термомеханические процессы, часто с изменением параметров кристаллической решетки, что особенно характерно для динаса, в несколько меньшей степени – для магнезиальных огнеупоров. Как показали исследования, тепловое прошлое огнеупоров во многих случаях положительно влияет на характеристики огнеупоров, изготавливаемых из вторичного огнеупорного сырья.

Следует отметить, что по качеству бой огнеупорных изделий можно разделить на две категории. К первой относится бой огнеупорного кирпича, образующегося при ремонтах нагревательных печей, частично плавильных. Такой материал обычно достаточно чист от посторонних примесей, не ошлакован, химический и минералогический составы его изменены не очень значительно по сравнению с первичной продукцией, приходящей с огнеупорных заводов. Такое вторичное сырье с успехом используется при изготовлении огнеупоров достаточно высокого качества. Вторая категория вторичного огнеупорного сырья представлена, в основном, боем ошлакованных огнеупорных изделий, в них часто наблюдается повышенное количество оксидов железа. Такое сырье используется для, изготовления изделий менее ответственного назначения, в основном из него получают компоненты обмазок, мертелей, смесей и т.д.

Как указывалось ранее, на Западно-Сибирском металлургическом комбинате и Новокузнецком металлургическом комбинате уже накоплено, примерно, по 500 тыс. т боя огнеупоров, при этом переработка и утилизация этого вида вторичного сырья в массовом выражении невелика – изготавливается, в основном, шамотный порошок для собственных нужд. Это, по-видимому, связано с незначительным воздействием экологических и экономических факторов на решение проблемы рециклинга рассматриваемого вида вторичного сырья. Однако на промышленном предприятии может создаваться ситуация, при которой его администрация вынуждена заниматься вопросами переработки и утилизации образующихся отходов.

Так, например, на Западно-Сибирском металлургическом комбинате в 2005-2006 гг. предлагается ввести в строй действующих

машину непрерывной разливки стали (МНЛЗ) в конверторном цехе №1. В этом случае, в результате увеличивающихся потерь тепла жидким металлом, температура его перед выпуском в разливочный ковш должна быть повышена на 100-150⁰ С. Как показал опыт работы МНЛЗ в конверторном цехе №2 ЗСМК футеровка конвертера при таком повышении температуры жидкой стали будет катастрофически изнашиваться и ее придется выполнять из привозного, очень дорогого периклазошпинелидного кирпича вместо изготавливаемого на ЗСМК смоломагнезитового кирпича. Как следствие, имеющийся на ЗСМК цех по его производству необходимо будет либо закрыть, либо переориентировать на выпуск другой огнеупорной продукции. Решение этой проблемы напрашивается само собой – разработать и реализовать в этом цехе безотходную энерго- и ресурсосберегающую технологию производства неформованных огнеупоров из 450 тыс. т боя огнеупорных изделий, склад которого расположен в нескольких десятках метров от основных зданий цеха смоломагнезитовых огнеупоров ЗСМК. В связи с этим была разработана и научно обоснована энерго – и ресурсосберегающая малоотходная технология получения шамотных изделий, характеристики которых отвечают требованиям ГОСТ 390 – 96 и представлены в таблице. В ее основу была положена идея использования тиксотропных сырьевых смесей путем применения связующего нового поколения – водной керамической вяжущей суспензии, обладающей этим свойством. Следует отметить, что разрабатываемая технология обладает универсальностью, т.е. может быть применена на любом предприятии, на котором образуется вторичное огнеупорное сырье в виде боя огнеупорных изделий.

Таблица – Характеристики шамотных изделий общего назначения и массового производства (по ГОСТ 390 – 96 и опытных)

№ п/п	ГОСТ-390-96	Плотность г/ см ³	Прочность на сжатие, Н/ мм ²	Пористость откр., %	Огнеупорность, °С
1	ША	2,0	18	24	1690
2	ШБ	1,93	-	24	1650
3	ШВ	1,86	17	-	1630
4	ШУС	1,78	12	28	1580
5	опытный	1,8 - 1,9	16 - 18	26	1640

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неформованные огнеупоры. Справочное издание в 2-х томах. Т. 1. Кн. 1. Общие вопросы и технологии / Пивинский Ю.Е. – М.: Теплоэнергетик, 2003. – 448 с.
2. Рециклинг твердых отходов в металлургии / Черепанов К.А., Абрамович С.М., Темлянцев М.В., Темлянцева Е.Н. – М.: Флинта-Наука, 2004. – 212 с.
3. Энтин С.В. Новые виды огнеупорной продукции для ведущих отраслей промышленности / С.В. Энтин, Н.М. Анжеуров // Новые огнеупоры. – 2002. – № 1. – С. 77 – 80.
4. Суворов С.А. Современные проблемы производства огнеупоров для металлургической промышленности / С.А. Суворов // Новые огнеупоры. – 2002. – № 3. – С. 38 – 44.
5. Митякин П.Л. Жаропрочные материалы на основе водных керамических суспензий / П.Л. Митякин, О.М. Розенталь. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1987. – 172 с.
6. Пивинский Ю.Е. Керамические вяжущие и керамобетоны / Ю.Е. Пивинский. – М.: Металлургия, 1990. – 262 с.
7. Бородай Ф.Я. Керамические материалы на основе аморфного кремнезема / Ф.Я. Бородай // Стекло и керамика. – 1992. – № 4. – С. 24 – 26.
8. Черепанов К.А. Технология изготовления керамобетона из промышленных отходов / К.А. Черепанов, Н.М. Кулагин, З.А. Масловская // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1995. – № 8. – С. 58 – 60.9. Черепанов К.А. Керамические неформованные материалы из отходов металлургической промышленности на основе тиксотропных сырьевых смесей / К.А. Черепанов, В.К. Черепанова // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2003. – № 2. – С. 65 – 66.
10. Пивинский Ю.Е. Керамобетоны – заключительный этап эволюции низкоцементных огнеупорных бетонов / Ю.Е. Пивинский // Новые огнеупоры. – 2002. – № 1. – С. 96 – 101.
11. Гришпун Е.М. ВКВС и керамобетоны – прорыв в технологии огнеупоров XXI века / Е.М. Гришпун, Ю.Е. Пивинский // Новые огнеупоры. – 2002. – № 2. – С. 48 – 50.

УДК 666.972:124:[658.5567./:669.183](043)

С.И. Павленко, Е.А. Автушко, Н.В. Захарова, Н.С. Анашкин*, Т.С. Юсупов**

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

*ООО «СТАЛЬ НК», г. Новокузнецк

**ОИГГиМ СО РАН, г. Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМАГНИТНЫХ ФРАКЦИЙ ПЕРЕРАБОТАННЫХ ОТВАЛЬНЫХ МАРТЕНОВСКИХ ШЛАКОВ НА ООО «СТАЛЬ НК» С ЦЕЛЬЮ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИЗ НИХ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА

В статье представлены результаты предварительных экспериментальных исследований возможности извлечения оксидов железа ($\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$) из немагнитных фракций переработанных отвальных мартеновских шлаков физико-механическими методами.

Сибирским государственным индустриальным университетом совместно с ОИГГиМ СО РАН (в Аналитическом центре) проведены исследования возможности извлечения оксидов железа ($\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$) из немагнитных фракций переработанных отвальных мартеновских шлаков на ООО «СТАЛЬ НК».

Известно [1,2], что на предприятии с 2003 г. действует установка по переработке отвальных мартеновских шлаков, из которых извлекается свыше 98 % содержащегося там

металла и скрапа (от 13 до 17 %), а также магнитной фракции шлака (Fe_2O_3 – магнетита), что составляет порядка 20 % от всей переработанной массы, а 80 % оно вынуждено снова отправлять в отвал, или использовать для засыпки свалок с бытовыми отходами, и частично продавать (до 10 %) для дорожного строительства. В то же время, в двух выпускаемых немагнитных фракциях (0..20 и 20..70 мм), содержится от 15 до 22 % вышеуказанных оксидов железа, что не позволяет использовать их в качестве заполнителей строительных бетонов (по требованиям ГОСТа не более 3 %). Творческим коллективом по научной программе «Развитие научного потенциала высшей школы» (код проекта 7891), раздел 3.3 «Развитие научно-исследовательской работы молодых преподавателей и научных сотрудников, аспирантов и студентов», выполняется проект «Исследование немагнитных фракций мартеновских шлаков (текущих и отвальных) с целью получения из них бесцементного вяжущего и заполнителей для мелкозернистых бетонов». В первом квартале была выполнена работа по исследованию исходного (текущего) и переработанного отвального мартеновского шлака с целью снижения содержания в немагнитной фракции шлака оксидов железа (Fe_2O_3 и FeO).

Исследовались три вида шлаков: исходный (текущий) и две фракции переработанного отвального шлака (0..20 и 20..70 мм) физико-механическими методами.

Таблица 2 – Химический состав продуктов электромагнитного разделения исходного шлака, %

Продукты разделения	Выход, %	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Ba	ППП	Сумма
Исходный шлак	100,0	21,01	1,563	4,21	27,44	5,439	12,31	23,58	0,55	0,17	1,244	0,003	2,64	100,15
Класс –0,2+0,1 мм: Эл. магнитная фракция	56,0	21,72	1,538	3,81	26,37	5,331	11,86	23,65	0,98	0,16	1,204	0,003	2,42	99,05
Немагнитная фракция	1,1	23,39	1,373	4,99	21,25	5,487	15,30	25,36	0,95	0,18	1,020	0,003	0,70	100,01
Класс –0,1+0,063 мм: Эл. магнитная фракция	26,7	21,62	1,536	4,53	25,76	5,380	12,33	23,74	0,81	0,15	1,232	0,003	2,38	99,45
Немагнитная фракция	0,3	25,60	1,043	4,62	16,80	4,553	17,19	24,87	0,76	0,33	0,857	0,003	0,60	97,82
Класс –0,063+0 мм	15,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Обогащение предусматривало измельчение, электромагнитную сепарацию с использованием роликового сепаратора 138-БСЭ и разделение в тяжелой органической жидкости бромформе, которое по эффективности разделения приближается к показателям гравитационных методов обогащения.

Исходный шлак

В результате дезинтеграции в щековой дробилке и измельчения в стержневой мельнице для изучения обогатимости был получен следующий гранулометрический состав шлака.

Таблица 1 – Гранулометрический состав шлака

Крупность продукта, мм	Выход фракций, %
–0,2+0,1	57,6
–0,1+0,063	27,0
0,063+0	15,4

Выделенные фракции крупности подвергались электромагнитной сепарации, на 1 ступени сепарации, при $I = 5$ а. Химический состав продуктов разделения и их выход приведены в таблице 2. Анализы проводились на приборе СРМ-25 –Электроника 60.

Разделения со значительными изменениями в продуктах сепарации содержания железа и других элементов не произошло, что свидетельствует о неэффективности электромагнитного обогащения исходного шлака.

В результате гравитационного разделения в тяжелой жидкости с $d=2,89 \text{ г/см}^3$ (бромформ) в легкую фракцию перешло всего 0,05 % шлака, что также свидетельствует о крайне низкой результативности гравитационного обогащения.

Таким образом, можно заключить, что исходный шлак механическими методами не обогащается.

Отвальный шлак фракции 0..20 мм

Данный продукт также как и исходный шлак был измельчен и рассеян на три фракции, которые подвергались электромагнитному обогащению на первой и второй ступенях сепарации, на второй ступени сила тока I достигала 10 а, а напряженность магнитного поля – 18000 эрстед.

Химическая характеристика продуктов разделения и их количественные соотношения представлены в таблице 3.

Проба отвального шлака (мелкая фракция) характеризуется существенно меньшим содержанием Fe_2O_3 – 21,98 %, что примерно на 5 % ниже, чем в исходном шлаке, она имеет серый цвет в отличие от черного, характерного для исходного шлака.

В результате I ступени электромагнитной сепарации класса –0,2 +0,1 мм в немагнитный

продукт переходит всего имеющего в своем составе 6,6 % вещества. Сепарацией на II ступени эта величина снижается до 1 % при содержании Fe_2O_3 1,62 %, а в магнитном продукте остается лишь 5,6 % шлака, с Fe_2O_3 – 9,26 %.

Обращает внимание весьма значительное возрастание в указанных продуктах значений потерь при прокаливании – ППП, составляющие соответственно 22,10 и 6,30 %, что связано, вероятно, с разложением карбонатов.

Из более тонкой фракции –0,1 +0,063 мм выход немагнитного продукта оказался даже меньшим, чем из предыдущего, более крупного класса и составил 1,6 % после 1 стадии сепарации с содержанием Fe_2O_3 – 5,63 %.

Ввиду незначительного выхода немагнитной фракции опыты по сепарации данного тонкого класса на II ступени не проводились.

Таким образом, электромагнитная сепарация даже применительно к менее железистому, отвального шлаку не позволяет выделить значительное для практического использования количество продуктов с содержанием $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 3$ % и, следовательно, электромагнитное обогащение не является перспективным методом снижения железа.

Таблица 3 – Химический состав продуктов разделения отвального шлака фракции 0..20 мм, %

Продукты разделения	Выход, %	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Ba	ППП	Сумма
Исходная проба	100,0	20,47	0,571	4,62	21,98	3,887	15,81	25,75	0,78	0,19	0,879	0,003	4,64	100,44
Класс –0,2+0,1 мм:														
Эл. магнитная фракция I ст.	49,1	22,39	0,640	5,76	22,25	4,823	14,60	26,59	0,70	0,16	0,834	<0,003	0,86	99,61
Эл. магнитная фракция II ст.	5,6	28,10	0,695	9,55	9,26	3,077	14,65	26,79	0,86	0,27	0,438	0,003	6,30	100,0
Немагнитная фракция II ст.	1,0	33,70	0,368	7,55	1,62	0,219	6,48	26,39	1,22	0,32	0,056	0,003	22,10	100,02
Класс –0,1 +0,063 мм:														
Эл. магнитная фракция I ст.	25,4	20,64	0,576	5,87	21,48	4,453	17,51	24,77	0,94	0,16	0,705	0,003	1,62	100,0
Немагнитная фракция I ст.	1,6	25,96	0,505	7,43	5,63	1,762	18,23	27,26	0,43	0,26	0,304	0,003	12,45	100,22
Класс –0,2+0 мм														
Фракция > 2,89	75,5	20,27	0,569	5,69	22,33	4,423	17,40	24,89	0,94	0,15	0,740	0,003	1,81	99,22
Фракция < 2,89	24,5	21,95	0,490	7,57	8,22	1,357	14,89	26,32	0,82	0,24	0,285	0,003	17,52	99,70

Более эффективным оказался процесс разделения в тяжелой жидкости. При этом из отвального шлака размерностью $-0,2 +0,1$ мм в среде с $d = 2,89$ г/см³ выделилось 24,5 % продукта, с Fe₂O₃ – 8,22 %. Таким образом, гравитационный путь обогащения следует считать более перспективным направлением, заслуживающим детального изучения и развития применительно к данному шлаку.

Отвальный шлак 20..70 мм

Данный продукт поступил на изучение после предварительного магнитного обогащения, в результате чего содержание Fe₂O₃ было снижено до 16,7 %. Химический анализ продуктов обогащения по выше описанной схеме приведен в таблице 4.

Электромагнитная сепарация класса $-0,2 +0,1$ мм данного продукта также не привела к требуемому снижению содержания Fe₂O₃ и выход фракции со значением этого компонента 1,2 % составил лишь 1,5 % от исходного. Близкая картина имеет место и при сепарации более тонкой фракции $-0,1 +0,063$ мм.

Исследование эффективности гравитационного разделения проводилось на наиболее тонком продукте $-0,063 +0$ мм, полагая, что в

данной крупности должно проявиться полное раскрытие сростков. В результате расслоения в тяжелой жидкости – бромформе с $d = 2,89$ г/см³ выделена легкая фракция с выходом 4,6,4 % и содержанием Fe₂O₃ – 9,11 %. Таким образом, и при обогащении этой пробы, гравитационное разделение показало свою перспективность.

Выводы

1. Исследования делимости и обогатимости исходного шлака использованными методами не привели к положительным результатам.

2. Электромагнитные методы разделения оказались малоэффективными применительно к исследованным разновидностям шлака.

3. Существенное снижение содержания железа достигается на отвальных шлаках при использовании гравитационного разделения.

4. Дальнейшие исследования должны сочетать гравитационные процессы с другими специальными методами, например, термической и трибомеханической обработкой, что позволит обосновать эффективную схему переработки отвальных шлаков.

Таблица 4 – Химический состав продуктов разделения отвального шлака фракции 20...70 мм, %

Продукты разделения	Выход, %	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Va	ППП	Сумма
Исходный шлак	100,0	17,57	0,471	5,23	16,70	2,928	18,66	28,56	0,86	0,18	0,503	<0,003	10,57	99,85
Класс $-0,2+0,1$ мм:	53,4	21,13	0,601	5,86	21,08	4,547	15,72	29,03	0,68	0,15	0,778	<0,003	0,20	99,77
Эл. магнитная фракция	3,8	25,38	4,94	8,09	12,44	3,623	15,57	30,63	0,89	0,19	0,605	<0,003	2,58	100,67
Немагнитная фракция	1,5	98,29	7,10	6,13	1,20	0,156	7,14	30,71	1,12	0,30	0,046	<0,003	24,70	100,03
Класс $-0,1 +0,063$ мм:														
Эл. магнитная фракция	24,2	20,56	0,576	4,94	20,50	4,604	17,20	28,95	0,95	0,15	0,754	<0,003	0,30	99,48
Немагнитная фракция	1,9	24,32	0,422	7,10	4,72	1,592	16,28	32,31	1,09	0,22	0,375	<0,003	11,61	100,04
Класс $-0,063 +0$ мм	15,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Фракция <2.89	46,4	17,43	0,405	5,80	9,11	1,838	15,46	30,31	0,87	0,16	0,351	<0,003	18,78	100,52
Фракция >2.89	53,6	18,49	0,520	5,74	21,14	4,120	19,66	23,12	1,27	0,14	0,607	<0,003	3,04	97,84

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отвальный мартеновский шлак на ООО «СТАЛЬ КМК» / А.И. Копытов, Н.С. Анаш-

кин, М.А. Усов, С.И. Павленко, У.Н. Анашкина // Рынок вторичных металлов. – 2004. – № 2/22. – С. 44-46.

2. Использование отвального мартеновского шлака в качестве сырья на ООО «СТАЛЬ КМК» / А.И. Копытов, Н.С. Анашкин, М.А. Усов, С.И. Павленко, У.Н. Анашкина // Сборник трудов научно-практического семинара

«Проблемы и пути создания композиционных материалов и технологий из вторичных минеральных ресурсов» 2-6 февраля 2004 г. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2004. – С. 5-15.

УДК 669.046.58

Е.В. Корнеева, С.М. Смирнов*, С.И. Павленко

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

*Восточный научно-исследовательский горнорудный институт, г. Новокузнецк

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ МЕТАЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ЗАКЛАДКИ ВЫРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ УГОЛЬНЫХ И РУДНЫХ ШАХТ

Приведены современные методы контроля устойчивости закладочных массивов и определены возможности использования мартеновских шлаков при изготовлении твердеющих смесей.

При извлечении из недр полезных ископаемых образуются выработанные пространства угольных и рудных шахт, что приводит к оседанию земной поверхности.

Для обеспечения сохранности наземных зданий и сооружений, попадающих в зону сдвижения поверхности, применяются системы разработки с закладкой выработанного пространства. В связи с углублением горных работ при отработке запасов увеличиваются объемы используемой закладки.

В Кемеровской области, ежегодно добывается более 130 млн.т. угля и 3,5 млн.т. железной руды. Добыча полезных ископаемых сопровождается геомеханическим мониторингом состояния горных пород и оценкой устойчивости подработанных массивов. Показателями неустойчивого состояния подработанного горного массива служат основные параметры процесса сдвижения – абсолютные и относительные величины оседания поверхности (вертикальные и горизонтальные деформации), углы сдвижения и разрывы, скорости оседания, длительность процесса сдвижения. С помощью специальных приборов производится изучение процесса деформации и разрушения подработанного массива горных пород, определяются величины деформаций, границы зоны влияния очистного простран-

ства, оценивается влияние закладочного массива [1].

При приготовлении смеси и возведении закладочного массива, прочностные свойства исследуются испытанием на одноосное сжатие контрольных образцов, отобранных из смесителя и закладочного массива.

Нормативная прочность закладочных массивов на одноосное сжатие варьирует от 0,1 до 20 МПа, что позволяет использовать при приготовлении закладочной смеси различные составы из местных, более дешевых материалов.

Представляет практический интерес исследование ученых: ВНИМИ, ИГД СО РАН, МГИ, МГУ, ИПКОН РАН, КузПИ, ГМОИЦ НГМК, которыми были проведено изучение геомеханических процессов, происходящих в закладочных массивах на рудниках Талнахско-Октябрьского месторождения. Использовался обширный комплекс современных натурных геомеханических, геофизических и других методов исследования глубинных реперов, выхода керна при бурении скважин, различных модификаций электрометрии, ультразвукового прозвучивания, плотностного гамма-гамма-каротажа; методов физического моделирования на эквивалентных материалах, а также определялись физико-механические свойства кернового материала.

В условиях рудников Талнахско-Октябрьского месторождения основной объем исследований, связанных с наблюдением поведения закладочных массивов, состояния выработок и обнажений в закладочном массиве, выполнен с применением комплекса методов, включающих визуальные наблюдения, измерения по реперным станциям за сдвижением налегающих толщ, прессиометрию и скважинные геофизические измерения (ультразвуковое просвечивание и каротаж, плотностной гамма-гамма-каротаж). Экспериментальный материал был получен при использовании измерительных приборов, изучающих напряженно-деформированное состояние закладочного массива: скважинные электрометрические методы [2,3] и ультразвуковые методы [4,5].

Установлено, что перспективным методом диагностики состояния и свойств твердеющей закладки является радиометрический [6]. Достоинства данного метода – практически неограниченная глубина и детальность исследований, оперативность определения плотности закладочного массива и возможность измерения в процессе ведения очистной выемки. Оценивая плотность закладочного массива, радиометрическим методом определяются деформации и напряжения, возникающие в искусственном массиве [7].

Прочность любого закладочного массива зависит от его структуры – она должна быть однородной, не слоистой, высокой плотности, малой воздухопроницаемости (чем больше доля воды в цементном камне, тем больше его пористость, что естественно снижает прочность). Анализ экспериментальных исследований, проведенных в закладочных массивах, свидетельствуют о том, что при фиксированной технологии приготовления закладки такие ее важнейшие характеристики, как прочность на сжатие и растяжение, время набора прочностных свойств, пространственная неоднородность, находятся в сильной корреляционной связи с плотностью заполнителя, влажностью. Измерение плотности закладочной смеси на различных этапах может быть осуществлено плотностным гамма-гамма-методом. Контроль физико-механических свойств (прочность и влажность) осуществляют электрохимическим методом [8]. В процессе возведения закладочного массива в смеси размещают электроды из разных металлов, измеряют амплитуду тока и скорость ее изменения. Затем по тарировочным кривым опре-

деляют прочность и влажность искусственного массива. Аналогичный способ для закладочного массива предложен в [9]. При комплексном контроле за деформированием закладочного массива измеряются: величина тока, естественный электрический потенциал, омическое сопротивление, плотность, предел прочности на одноосное сжатие, скорость продольных волн и коэффициент акустической анизотропии [10]. В наблюдениях [11] отмечено, что закладочная смесь с содержанием 55 % твердого вещества после укладки имеет прочность на одноосное сжатие до 0,14 МПа; содержание 75 % твердого вещества повышает прочность закладочного массива после 90-дневного выдерживания до 0,34 МПа

Для повышения эффективности и экологического уровня производства в приготовлении твердеющей закладочной смеси используются дробленые шахтные породы и отходы местного промышленного производства. Применение дорогостоящего цемента сокращается до минимума или полностью исключается.

Интересной идеей возможности использования отходов доменного производства в процессе изготовления бетонов для закладки подработанного массива явилось изобретение (патент 2186989 «Состав закладочной смеси») [12]. Полученный материал может быть использован в шахто- и карьеростроении, при разработке месторождений полезных ископаемых, связанных с закладкой выработанного пространства, также для закладки отработанных карьеров, выработок, проходов и т.д. Цель изобретения – повышение прочности закладочной смеси утилизацией отходов гидрометаллургического производства, что позволит снизить загрязнение окружающей среды. В состав кроме цемента, молотого доменного гранулированного шлака, включен еще песчаный заполнитель. В этом качестве используются аморфные осадки нейтрализации серной кислоты известняком, предварительно обработанные водным раствором сульфата железа. Соотношение компонентов в процентах: цемент – 4,0-6,8; молотый доменный гранулированный шлак – 9,7-16,5; аморфные осадки нейтрализации серной кислоты известняком – 31,7-40,8; гидросульфат железа – 1,2-2,0; остальное – вода. Разработанная технология переработки промышленных отходов доменного производства открывает широкие возможности для решения проблем промышленных регионов.

Так же, возможность использования отходов производства в качестве закладочной смеси выработанных пространств разработана для уранодобывающих шахт Украины [13]. По результатам проведенных научно-исследовательских работ направленных на разработку и испытание твердеющих закладочных смесей, было предложено использовать хвосты кучного выщелачивания в качестве крупного заполнителя. После завершения технологического процесса хвосты кучного выщелачивания после промывки должны быть складированы в отвал или утилизированы, при этом наиболее экономически целесообразным было предложено использование их в закладку выработанного пространства в качестве крупного заполнителя, способного заменить дефицитный и дорогостоящий песок и утилизировать отходы производства. При этом испытания показали, что прочность искусственного массива выше, чем прочность при применении в качестве закладки дробленых горных пород (при одинаковом расходе шлака на 1 м^2 закладки). В состав разработанной закладочной смеси в качестве вяжущего добавляется молотый граншлак. Крупным заполнителем служат хвосты кучного выщелачивания с добавлением песка и без него. Т.о. цель научно-исследовательской работы заключается в получении закладочных составов, состоящих из конкретных компонентов, находящихся в работе в настоящее время. Закладочная смесь готовится на основе вяжущих, заполнителя и воды. В качестве вяжущего используется молотый шлак Криворожского металлургического завода с тонкостью помола 55 % фракции 0,074мм, плотностью 1100 кг/м^3 , удельным весом 3100 кг/м^3 . Заполнитель – хвосты кучного выщелачивания с удельным весом 2650 кг/м^3 , плотностью 1500 кг/м^3 , влажностью 8-10 %. Песок применяется в качестве мелкого заполнителя. Вода применяется как техническая, так и питьевая.

В 1980 г. институтом «Унипроед» и «Магнитогорским горно-металлургическим институтом» проводились исследования мартеновских (отвальных) шлаков с целью определения оптимального состава вяжущего, выбора эффективных активизирующих добавок для создания экономичных составов закладочных смесей. Для эксперимента были выбраны рудники Норильского горно-металлургического комбината, как наиболее сложные по климатическим, и горно-геологическим условиям, а также в техноло-

гическом плане. Однако внедрения в производство не последовало из-за высокой стоимости полученной закладочной смеси, что повлияло на экономические показатели проектируемых рудников [14] – по результатам научно-исследовательских работ института «Унипроед» и проектных расчетов «Норильскпроекта».

Для условий подземной добычи угля в Прокопьевском районе Кузбасса [15] разработана технология приготовления закладки с использованием гранулированных шлаков Западно-Сибирского металлургического комбината в качестве заполнителя, и цемента в качестве вяжущего.

Из-за разнообразия химического и минерального составов, неустойчивой структуры и значительных включений металлов [16] отходы мартеновского производства не нашли промышленного применения. Высокое содержание железа в виде оксидов и металлических включений (корольков и скрапа) затрудняет размол и грануляцию шлаков. Поэтому имеются сложности в доработке этих продуктов до требований, предъявляемых к дальнейшему их использованию в виде сырья. В настоящее время с появлением нового современного технологического оборудования (суперскоростных планетарных мельниц), появилась возможность использовать отходы мартеновского производства. Применение данного технологического оборудования для переработки техногенного сырья позволит значительно увеличить его качественные показатели.

Сталеплавильные шлаки (мартеновские) привлекали внимание исследователей тем, что их текущий выход в металлургическом производстве исчисляется миллионами тонн, а химический состав по содержанию СаО близок к доменным. Они не гранулируются и сливаются из шлаковозных ковшей непосредственно в отвал, где со временем вследствие высокого содержания СаО превращается из глыб в куски.

Результаты полученных исследований показывают наличие в мартеновских шлаках двухкальциевого силиката, который обладает вяжущими свойствами и является составной частью клинкера портландцемента. Это дает возможность вести дальнейшие исследования по разработке технологии производства бесцементного (бесклинкерного) вяжущего при работе с текущим (свежим) шлаком, т. к. в нем содержится большее количество двух-

кальциевого силиката, чем в отвальном. Анализ результатов исследований шлака показал соответствие его требованиям ГОСТа 26633-91.

В институте СибГИУ (в лице ученых и аспирантов) совместно с институтами Сибирского отделения Российской академии наук (ОИГГиМ и ИХТГиМ) и производителями разрабатывается технология по созданию состава вяжущего из вторичных минеральных ресурсов с перспективой использования вяжущего в закладочной смеси.

На региональном конкурсе «Инновации и изобретения года», проводимого Администрацией Кемеровской области и Кузбасской Торгово-промышленной палатой областного совета ВОИР, победителем стала технология использования отвального мартеновского шлака в качестве сырья на ООО «Сталь КМК». Данная технология используется для сортировки и дробления шлаков с магнитной сепарацией и дальнейшего применения магнитной фракции в качестве сырья мартеновского производства стали, а немагнитной – для строительства дорог, создания новых композиционных материалов (заполнители различных видов бетонов), вяжущих и огнеупоров, и, в перспективе, в технологии комплексной глубокой переработки с отделением всех металлов и редкоземельных элементов в одном технологическом цикле [17].

При нарастающем дефиците доменных шлаков приобретает важное значение вопрос утилизации сталеплавильных шлаков. Широкое вовлечение этих шлаков в сферу производства сократит площади шлакоотвалов, будет способствовать сохранению окружающей среды.

В ноябре 2003 г. установка была введена в действие на ООО «Сталь КМК». За это время было выдано для нужд сталеплавильного производства более 123 тысяч тонн металла. В 2005 г. введена вторая установка по переработке мартеновского шлака. Ожидается, что с вводом второй установки объемы извлекаемого металла возрастут до 220 тысяч тонн в год. Предприятие планирует сократить долю покупного металлолома до 10 %. Объем капитальных вложений в реализацию этого проекта – более 40 миллионов рублей. Предполагается, что экономический эффект составит более 27,5 миллионов рублей в год. Извлеченный из шлака металл в 2,5 раза дешевле металлолома, поэтому себестоимость мартеновской стали будет существенно снижена. Пе-

реработка шлаков решает проблему утилизации твердых металлургических отходов, оказывающее негативное воздействие на окружающую среду. С 1932 года на территории Кузнецкого металлургического комбината накопилось более 25 миллионов сталеплавильных шлаков. По оценкам специалистов, объем запасов чистого металлолома на шлакоотвале бывшего «КМК» составляет около 2 миллионов тонн.

В настоящее время продолжается работа по разработке нового состава закладочной смеси с использованием отходов мартеновского производства. Это позволит решить наряду с производственно-экономическими проблемами не менее актуальные задачи – экологические.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ляшенко В.И. Научные основы геомеханического мониторинга состояния горного массива при подземной разработке месторождений сложной структуры. / В.И. Ляшенко, В.И. Голик // Цветная металлургия. – № 10. – 2004. – С. 9-10.
2. Курленя М.В. Руководство по применению электрометрического метода оценки нарушенности высокопроводящих пород / М.В. Курленя, В.Н. Опарин, А.П. Тапсиев. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1979.
3. Курленя М.В. Электрометрический метод диагностики напряженно-деформированного состояния массивов горных пород / М.В. Курленя, В.Н. Опарин. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1989.
4. Турчанинов И.А. Геофизические методы определения и контроля напряжений в массиве / И.А. Турчанинов, В.И. Панин. – Л.: «Наука. Ленинградское отделение», 1976.
5. Ржевский В.В., Ямщиков В.С. Акустические методы исследования и контроля горных пород в массиве / Ржевский В.В., В.С. Ямщиков. – М.: «Наука», 1973.
6. Использование радиометрического метода для контроля напряженного состояния твердеющей закладки / Г.Г. Фаустов, С.О. Попов, А.С. Соколенко и др. – Кривой Рог, Деп. Укр. НИИТИ 27.05.88, №1308-Ук 88, 1988. – 7 с.
7. Способ определения максимального главного нормального напряжения в закладочном массиве / Смелый Е.С., Авксентьева В.В., Афанасьева Ю.С. и др. // А.с. 1051275 СССР, Опубл. в Б.И., № 40, 1983.

8. Мельников В.А. Контроль физико-механических свойств твердеющих закладочных массивов электрохимическим методом / В.А. Мельников, Р.И. Джумбаев // Физические процессы горного производства: управление горным давлением. – Л., 1984.
9. Мельников В.А. Способ контроля закладочного массива. / В.А. Мельников, Р.И. Джумбаев, Л.Э. Бич // А.с. 1006989 СССР, опубл. в Б.И. № 11, 1983.
10. Гладких Ю.П. Комплексный контроль за формированием закладочного массива / Ю.П. Гладких. – Алма-Ата: Ин-т горного дела АН КазССР, Деп. ВИНТИ 04.12.87., №8540-1383, 1987. С 7.
11. Crudy Mc., Hall I.G., R.I. Cemented Sand fill at Inco // *Cim Bull.*, Voll. 59 (651).
12. Патент № 2186989. Состав закладочной смеси. / Чучалин Л.К., Моисеев В.Г., Дергалина Ф.П., Камзаракова С.Г., Кульсартов В.К. // Заявка №2000/2019.1 от 09.01.01, БИ ПМ № 22, 2002. С. 497.
13. Сорока М.Н. Исследование возможности использования хвостов кучного выщелачивания для закладки выработанного пространства уранодобывающих шахт Украины / М.Н. Сорока, Ю.Я. Савельев // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – № 4. – 2004. – С. 78-80.
14. Вяткин А.П. Твердеющая закладка на рудниках / А.П. Вяткин, В.Г. Горбачев, В.А. Рубцов. – М.: Недра, 1983. – 168 с.
15. Утилизация отходов добычи и переработки угля: Учебное пособие / В.Н. Фрянов, В.В. Севостьянов, А.Е. Родионов, В.А. Шишорин, А.В. Севостьянов: СибГИУ. – Новокузнецк, 2000. – 55 с.
16. Алехин Ю.А. Экономическая эффективность использования вторичных ресурсов в производстве строительных материалов / Ю.А. Алехин, А.Н. Люсов. – М.: Стройиздат, 1988. – 342 с.
17. Анашкин Н.С. Перспективы обеспечения минерально-сырьевыми ресурсами ООО «Сталь НК» на основе переработки и использования отходов производства / Н.С. Анашкин, С.И. Павленко // *Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов.* Вып. 14.: СибГИУ. – Новокузнецк, 2005. – С. 271-276.

УДК 378.048.45

Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, Л.Г. Рыбалкина, В.Б. Деев, Е.Г. Майсеенок

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

ВОСПРОИЗВОДСТВО РАБОЧИХ КАДРОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Изучены объем, структура и качество подготовки рабочих кадров и специалистов СПО и ВПО металлургического профиля в образовательных учреждениях Кузбасса, факторы успешности будущей профессиональной карьеры выпускников, содействие их трудоустройству, социальное партнерство учреждений профессионального образования и металлургических предприятий, состояние рынка труда металлургических специальностей и профессий.

В течение последних 10 лет в период реформирования экономики России и Кузбасса профессиональное образование Кемеровской области не только сохранило, но и приумножило свой образовательный потенциал. В настоящее время система начального профессионального образования включает 87 образовательных учреждений, в которых общий контингент обучающихся составляет 35,5 тыс. чел. Подготовка рабочих кадров ведется по 86 значимым для региона профессиям и более чем 200 специальностям. Система среднего профессионального образования включает 65 образовательных учреждений и структур, в которых обучается 57,3 тыс. чел. по 98 специальностям. В системе высшего профессионального образования число образовательных учреждений и структур возросло с 11 до 97. Число студентов увеличилось в 2,3 раза и составляет 95,4 тыс. чел. Подготовка ведется по 214 направлениям и специальностям.

Оценка состояния профессионального образования Кемеровской области показывает, что сложившаяся система по объему подготовки рабочих кадров и специалистов, их квалификационно-профессиональной структуре способна обеспечить постоянное обновление и воспроизводство регионального кадрового потенциала, решение тактико-стратегических задач региональной кадровой политики. Во многом это стало возможным благодаря усилиям Администрации Кемеровской области,

по инициативе которой был разработан и реализуется целый блок программ поддержки и развития профессионального образования всех трех уровней.

В настоящее время в Кемеровской области действуют 9 учреждений профессионального образования, осуществляющих подготовку рабочих и специалистов металлургического профиля, в том числе

- пять учреждений начального профессионального образования: профессиональные училища № 11, № 52, № 67, № 31 и профессиональный лицей № 19;
- два учреждения среднего профессионального образования: Кузнецкий металлургический колледж, Кузнецкий индустриальный колледж;
- два учреждения высшего профессионального образования: Сибирский государственный индустриальный университет, Юргинский технологический институт-филиал Томского политехнического университета.

Территориальное расположение образовательных учреждений приведено на рисунке 1.

Семь образовательных учреждений расположены в г. Новокузнецке, одно – в г. Гурьевске (ПУ № 31), одно – в г. Юрге (ЮТИ(Ф) ТПУ).

Образовательные учреждения готовят рабочих и специалистов по 22 специальностям и

профессиям (таблица 1), в том числе НПО – по 7 профессиям и 11 специальностям, СПО – по 4 специальностям, ВПО – по 11 специальностям. Обращение к общероссийскому Перечню профессий начального профессионального образования 1999 г. и Общероссийскому классификатору специальностей СПО и ВПО 2003 г. показывает, что наиболее полно в Кузбассе представлено высшее металлургическое образование, в рамках которого ведется подготовка инженеров-металлургов по 8 специальностям, инженеров-технологов КХП – по 1, инженеров-механиков – по 2, инженеров-исследователей – по 1.

В 2003-2004 учебном году в системе металлургического образования области подготовлено 786 рабочих и специалистов (таблица 2), в т.ч. в системе НПО 308 или 39,2 %, СПО – 144 или 18,3 %, ВПО – 334 или 42,5 %.

Доля женщин в выпуске составила 15,5 % и по уровням образования распределилась

следующим образом: НПО – 46,7 %, СПО – 5,7 %, ВПО – 47,5 %.

Прием на обучение в этом же учебном году составил 981 человек, в том числе в ОУ НПО – 274 или 27,9 %, СПО – 238 или 24,3 %, ВПО – 469 или 50,7 %. Доля женщин в общем приеме составила 134 человека или 13,6 %.

Анализ структуры подготовки по уровням образования дает следующую картину. В системе НПО подготовка осуществляется по 7 профессиям и 11 специальностям (должностям), в то время как в Общероссийском перечне металлургии как сфере профессиональной деятельности соответствует 11 профессий и 75 специальностей. Складывается впечатление, что ОУ НПО достаточно четко представляют кадровые запросы металлургических предприятий по номенклатуре профессий и специальностей. При этом распределение по профессиям выглядит следующим образом (таблица 3).

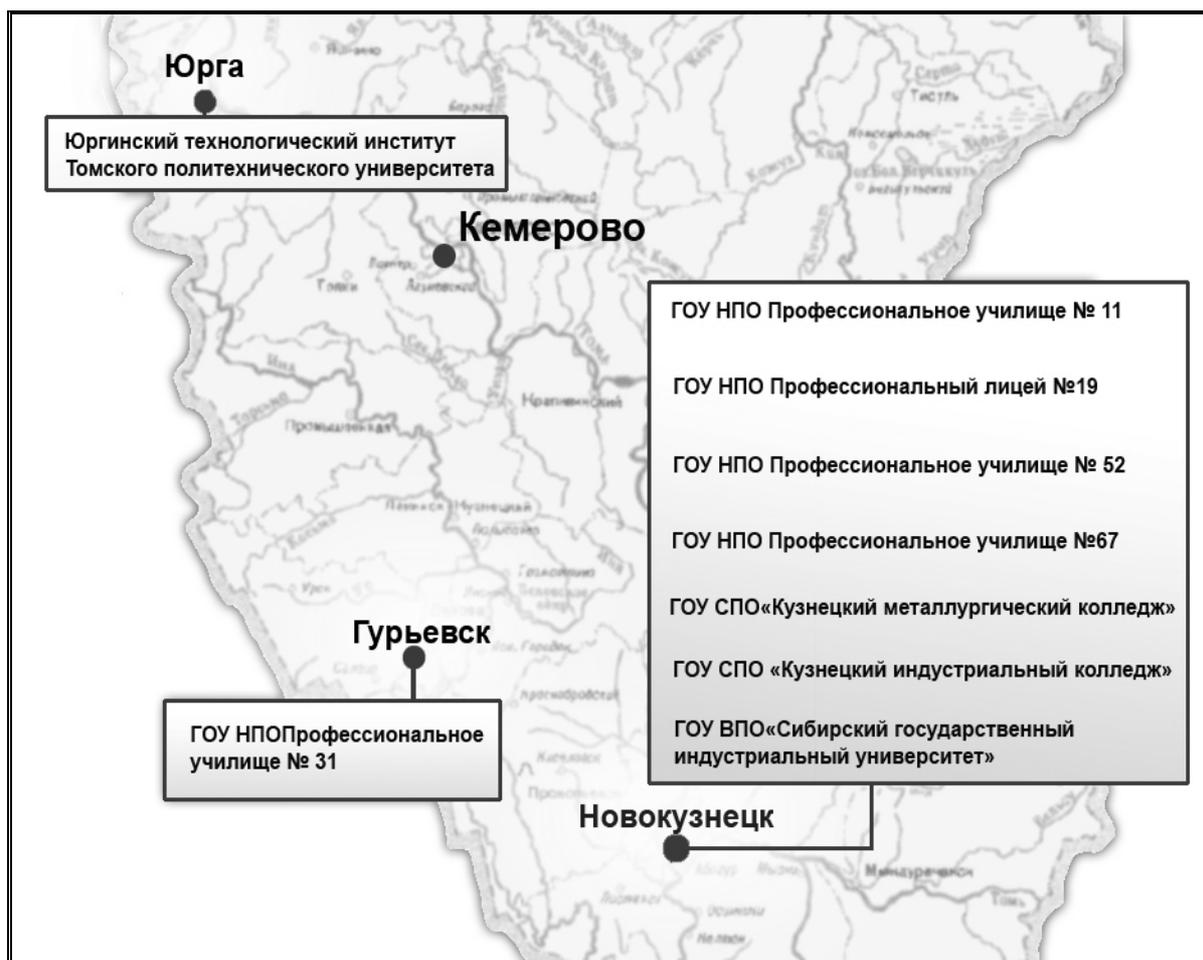


Рисунок 1 – Территориальное распределение образовательных учреждений, осуществляющих подготовку рабочих и специалистов металлургического профиля

Таблица 1 – Номенклатура металлургических специальностей и профессий

ПРОФЕССИИ	Специальности, профессии	Учреждения профессионального образования																						
		ГОУ НПО					ГОУ СПО																	
		ПУ №11	ПУ №31	ПУ №52	ПУ №67	ПЛ №19	КМК	КИК	СибГИУ	ГОУ ВПО	ЮГИ ТПУ													
ПРОФЕССИИ	Машинист машин металлургического производства																							
	Оператор прокатного производства																							
	Сталеплавильщик конвертерного производства																							
	Аппаратчик-оператор коксохимического производства																							
	Аппаратчик-оператор в производстве цветных металлов																							
	Аппаратчик-оператор экологических установок																							
	Обогатитель полезных ископаемых																							
	Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования																							
	Теплоснабжение и теплотехническое оборудование																							
	Металлургия черных металлов																							
	Металлургия цветных металлов																							
	Обработка металлов давления																							
	Теплофизика, автоматизация и экология промышленных печей																							
	Литейное производство черных и цветных металлов																							
	Металловедение и термическая обработка металлов																							
Металлургия техногенных и вторичных ресурсов																								
Физика металлов																								
СПЕЦИАЛЬНОСТИ	Химическая технология неорганических веществ (технология углекислотных производств)																							
	Металлургические машины и оборудование																							
	Гидравлические машины, гидротрансмиссии и гидроприводы и гидропневмоавтоматика																							

Таблица 2 – Прием на обучение и выпуск рабочих и специалистов металлургического профиля в 2004 году

Уровни профессионального образования	Прием, чел./ %	Выпуск, чел./ %
Начальное	<u>274</u> (44) * 27,9 (32,8)	<u>308</u> (57) 39,2 46,7
Среднее	<u>238</u> (22) 24,3 (16,4)	<u>144</u> (7) 18,3 5,7
Высшее	<u>469</u> (68) 47,8 50,7	<u>334</u> (58) 42,5 (47,5)
Всего	<u>981</u> (134) 100 100	<u>786</u> (122) 100 (100)

*Абсолютное и относительное количество женщин

Таблица 3 – Структура подготовки рабочих металлургических профессий (по данным на 2004 г.)

Металлургические профессии	Объем подготовки, чел./ %		
	общий	мужчин	женщин
Машинист машин металлургического производства (машинист крана металлургического производства)	<u>101</u> 32,8	53	48
Оператор прокатного производства	<u>85</u> 27,6	85	-
Сталеплавильщик конвертерного производства	<u>34</u> 11,0	34	-
Аппаратчик- оператор в производстве цветных металлов	<u>18</u> 5,8	18	-
Аппаратчик- оператор коксохимического производства	<u>25</u> 8,1	24	1
Обогатитель полезных ископаемых	<u>22</u> 7,1	17	5
Аппаратчик воздухоразделения	<u>23</u> 7,5	20	3
Всего	<u>308</u> 100	<u>251</u> 81,5	<u>57</u> 18,5

Наиболее представлены такие профессии, как «Машинист машин металлургического производства» со специальностью «Машинист крана металлургического производства» – 32,8 % обученных, «Оператор прокатного производства (2 специальности)» – 27,6 %, «Сталеплавильщик конвертерного производства (2 специальности)» – 11,0 % обученных.

Удельный вес остальных профессий в структуре подготовки близок и составляет 6-8 %. Среди получивших специальность «Машинист крана металлургического производства» 47,5 % составляют женщины, принятые, как правило, на условиях т.н. сверхпланового, т.е. коммерческого приема. Реальная потребность в машинистах кранов металлургического про-

изводства, например, такого гиганта, как Запсиб, оценивается до 7 человек в год.

Структура подготовки специалистов со средним профессиональным образованием представлена в таблице 4.

Можно видеть, что доля обученных по основным специальностям – «Металлургия черных металлов», «Обработка металлов давлением» не велика и составляет только 23,6 %. Остальной объем подготовки приходится на долю техников-механиков.

Структура подготовки специалистов с высшим профессиональным образованием приведена в таблице 5.

Можно видеть, что в структуре подготовки доля инженеров-металлургов составляет 70,7 %, инженеров-механиков – 21,9 %, инженеров-технологов коксохимического производства – 3,6 %, инженеров-исследователей – 3,9 %. Безусловным лидером среди специальностей является «Металлургия черных металлов» – фактически каждый третий из обучаемых получает эту специальность.

Анализ представленной информации позволяет сделать ряд выводов и прогнозов, как общих для всех образовательных учреждений системы профессионального образования, так и конкретно для высших учебных заведений.

К общим необходимо отнести следующие моменты:

1. Условия функционирования учебных заведений. Естественно, они существенно различны даже в пределах одного уровня профессионального образования по кадровому обеспечению, учебно-методической базе,

учебно-информационным ресурсам и другим факторам. В тоже время они соответствуют региональным и федеральным нормативам лицензирования, аттестации и аккредитации ПОП и учреждений и, следовательно, могут быть признаны достаточными.

2. Условия финансирования. В течение последних 10-15 лет произошел переход от нормативного финансирования к финансовой поддержке (федеральной, региональной, ведомственной и др.) со всеми вытекающими отсюда последствиями.

3. Прием (или набор) в образовательные учреждения. Сегодня преодолимые трудности при формировании контингента испытывают профессиональные училища № 11, № 31, № 52, № 67, колледжи металлургический и индустриальный. ПЛ № 19, СибГИУ и ЮТИ таких трудностей не отмечают. В целом это свидетельствует о доверии населения к металлургии как к отрасли экономики современной России и престижности ВПО. Однако это констатируется на фоне неблагоприятных прогнозов: ухудшение демографической ситуации и нежелательного для металлургии Кузбасса перераспределения обучаемых между уровнями профессионального образования. По данным Кемеровского областного центра профессиональной ориентации молодежи и психологической поддержке населения только 8 % учащихся старших классов намерены поступать в ПУ. В целом это общероссийская тенденция, но легче от этого не становится.

Таблица 4 – Структура подготовки специалистов со средним профессиональным образованием

Металлургические специальности	Объем подготовки, чел./ %		
	общий	мужчин	женщин
Металлургия черных металлов	$\frac{21}{14,6}$	21	-
Обработка металлов давлением	$\frac{13}{9,0}$	13	-
Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования	$\frac{75}{52,1}$	68	7
Теплоснабжение и теплотехническое оборудование	$\frac{35}{24,3}$	35	-
Всего	$\frac{144}{100}$	$\frac{137}{95,1}$	$\frac{7}{4,9}$

Таблица 5 – Структура подготовки специалистов с высшим профессиональным образованием

Металлургические специальности	Объем подготовки, чел./ %		
	общий	мужчин	женщин
Металлургия черных металлов	$\frac{104}{31,1}$	90	14
Металлургия цветных металлов	$\frac{14}{4,2}$	11	3
Обработка металлов давлением	$\frac{28}{8,4}$	26	2
Литейное производство черных и цветных металлов	$\frac{38}{11,4}$	32	6
Металловедение и термическая обработка металлов	$\frac{7}{2,1}$	4	3
Теплофизика, автоматизация и экология промышленных печей	$\frac{45}{13,5}$	30	25
Химическая технология неорганических веществ (специализация "Технология углехимических производств")	$\frac{12}{3,6}$	8	4
Физика металлов	$\frac{13}{3,9}$	7	6
Металлургические машины и оборудование	$\frac{57}{17,1}$	53	4
Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика	$\frac{16}{4,8}$	15	1
Всего	$\frac{334}{100}$	$\frac{276}{82,6}$	$\frac{58}{17,4}$

4. Структура профессий и специальностей. В последние 10 лет профессиональные учебные заведения модернизировали структуру подготовки, приведя ее в полное соответствие кадровым запросам предприятий.

5. Объемы подготовки – формируются главным образом на основе маркетингового подхода. Имеющийся перебор по отдельным профессиям и специальностям, например по специальности НПО «Машинист крана металлургического производства» – это следствие не профессиональной близорукости и незнание рынка труда, а результат естественного стремления привлечь в образовательное учреждение дополнительные средства. В целом же образовательное учреждение находится как бы между молотом и наковальней: с одной стороны – претендующие на обучение и их семьи и необходимость в удовлетворе-

нии образовательных запросов, с другой стороны – контроль за трудоустройством со стороны различных региональных и федеральных структур, в том числе ГЦЗ.

В целом же необходимо сказать, что прогнозирование и регулирование объемов подготовки – сегодня это самый сложный многофакторный процесс, требующий системного подхода и во многом определяющий рациональное использование средств образовательных учреждений, предприятий, бюджетов всех уровней.

Сначала о сложившихся объемах подготовки и их краткосрочном прогнозировании. Представленная сегодня картина такова, что возникает впечатление переизбытка инженерных кадров (42,5 % от регионального объема подготовки металлургов), не отвечающего пока техническому состоянию и уровню тех-

нологии металлургических предприятий региона. Однако это впечатление представляется кажущимся по следующим причинам:

- университет 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;
- в 2000 г. университет оценил успешность карьеры выпускников металлургов на предприятиях региона и выявил 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.

В качестве подтверждения этого тезиса можно привести следующие данные: в 2002-2003 гг. университетом проведен сбор и анализ информации по потребности в выпускниках на период до 2010 г. по заявкам более 100 предприятий города и региона. Прогноз потребности в инженерах учитываемого профиля приведен на рисунке 2 и в таблице 6. Можно видеть, что средние показатели соответствуют отмечаемым сегодня при лидерстве специальности «Металлургия черных металлов».

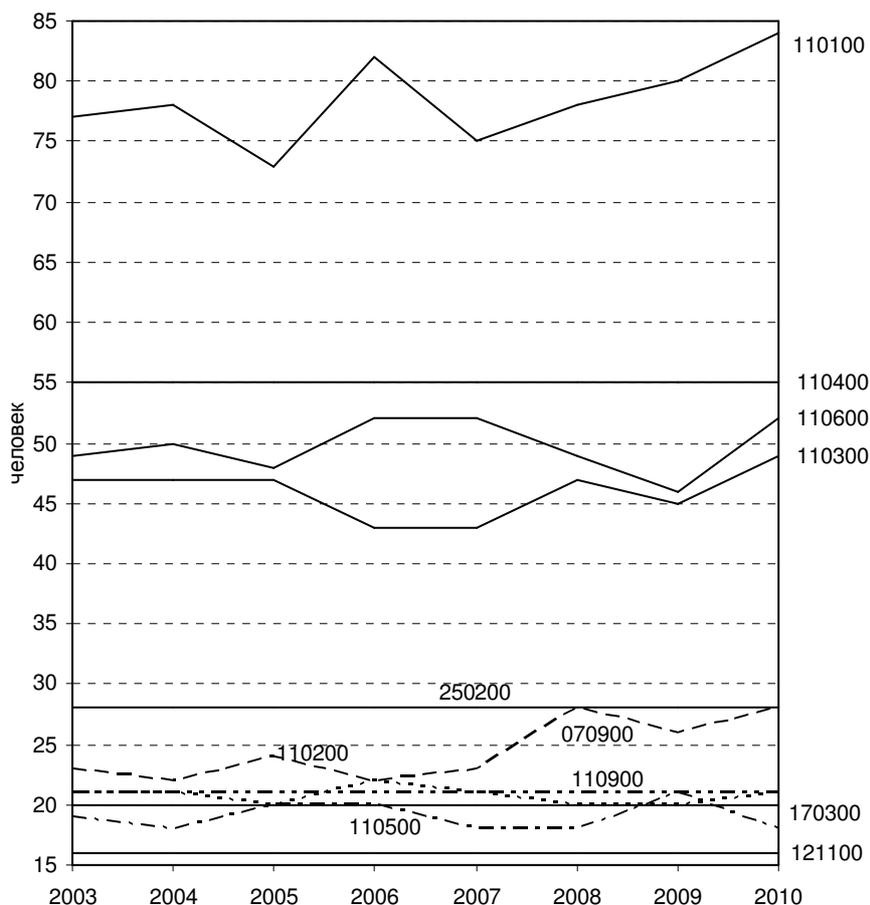


Рисунок 2 – Прогноз ежегодной потребности предприятий региона в специалистах металлургического профиля на период 2003-2010 гг.

Таблица 6 – Прогноз ежегодной и средней потребности предприятий региона в специалистах металлургического профиля на период 2003-2010 гг.

Специальность	Годы										Среднее значение
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010			
Металлургия черных металлов 110100	77	78	73	82	75	78	80	84	78		
Металлургия цветных металлов 110200	21	21	21	21	21	21	21	21	21		
Теплофизика, автоматизация и экология промышленных печей 110300	47	47	47	43	43	47	45	49	46		
Литейное производство черных и цветных металлов 110400	55	55	55	55	55	55	55	55	55		
Металловедение и термическая обработка металлов 110500	19	18	20	20	18	18	21	18	19		
Обработка металлов давлением 110600	49	50	48	52	52	49	46	52	50		
Металлургия вторичных и техногенных ресурсов 110900	21	21	20	22	21	20	20	21	21		
Химическая технология неорганических веществ 250200	28	28	28	28	28	28	28	28	28		
Металлургические машины и оборудование 170300	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
Физика металлов 070900	23	22	24	22	23	28	26	28	25		
Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика 121100	16	16	16	16	16	16	16	16	16		
Всего:										379	

Теперь о регулировании объемов подготовки. В системе НПО планирование и организация подготовки кадров осуществляется в соответствии с распоряжением Администрации Кемеровской области от 2004г. «Об утверждении порядка согласования объемов и профилей подготовки квалифицированных рабочих кадров и специалистов в учреждениях начального профессионального образования Кемеровской области». В системе СПО в основу определения объемов подготовки положен регионально-ведомственный принцип. В системе ВПО с 2003 года установление вузу контрольных цифр приема осуществляется по результатам его участия в открытом Всероссийском конкурсе на размещение государственного задания. Это, естественно, в значительной степени повышает конкуренцию, ужесточает требования к качеству, структуре и объемам подготовки специалистов, ориентирует вузы на потребности рынка труда, запросы предприятий. В то же время такая система сводит на нет региональное участие в планировании приема в ОУ ВПО.

6. Качество подготовки выпускников.

В настоящее время в системе профессионального образования Российской Федерации сформировались следующие уровни гарантии качества: федеральный, субъекта федерации и муниципалитетов и образовательного учреждения. Обеспечение государственных гарантий качества в сфере профессионального образования возможно на Федеральную службу по надзору в сфере образования и науки Министерства образования и науки Российской Федерации и осуществляется через процедуру лицензирования, аттестации и аккредитации, периодических комплексных оценок деятельности образовательных учреждений и внеплановых контрольных мероприятий. Участие в обеспечении качества образовательных услуг областных и муниципальных органов управления профессиональным образованием осуществляется в соответствии со сложившейся практикой распределения соответствующих полномочий между центром, субъектом Федерации и муниципальным образованием. В образовательных учреждениях профессионального образования к настоящему времени традиционно сложились и поддерживаются определенные элементы системы качества, включающие мониторинг, планирование, анализ результатов, корректирующие и предупреждающие мероприятия, составляющие внутренний аудит, работа с поставщиками и

потребителями. Для вузов Министерство образования Российской Федерации включило, начиная с 2000г., в число аккредитационных показателей наличие элементов внутривузовской системы контроля качества подготовки специалистов. В настоящее время в связи с участием России в Болонском процессе эти требования ужесточились: вузы должны иметь сертифицированную или подготовленную к сертификации систему менеджмента качества, по крайней мере, образовательной деятельности.

Качество подготовки специалистов во многом определяется содержанием образовательного процесса, регламентируемого в настоящее время государственными образовательными стандартами, определяющими квалификационные требования к уровню профессиональных знаний, умений и навыков. При подготовке специалиста реализация требований государственного образовательного стандарта осуществляется в двух основных направлениях: становление профессионала и формирование личности с активной социальной позицией, устойчивым мировоззрением, высоким уровнем поведенческой, коммуникативной, информационной культуры. Нацеленность стандартов на реализацию образовательно-социальной функций обуславливает перераспределение структуры и объемов учебных дисциплин между блоками естественнонаучным и математическим, общепрофессиональным, специальным, с одной стороны и, гуманитарным и социально-экономическим, с другой стороны в направлении ограничения первых трех. В подобных условиях достижение требуемого для современной металлургии уровня профессиональных знаний становится возможным лишь при широком освоении и использовании активных, действительно высоких образовательных технологий, соответствующей переподготовки профессорско-преподавательского состава, создания принципиально новых учебно-информационных ресурсов. К сожалению, сегодня подавляющее большинство российских вузов для решения поставленных временем задач необходимыми средствами и ресурсами не располагает.

Наряду с этим металлургия как весьма сложная профессионально-производственная среда предъявляет достаточно жесткие требования к уровню профессиональных умений и навыков стартовых в ней специалистов, формируемых и закрепляемых, как правило, в условиях производственной практики. Однако

последние 10-15 лет характеризуются ухудшением условий организации, проведения и эффективности производственной практики, снижением ее роли и значимости в профессиональном становлении металлургов. Особенно это коснулось подготовки инженеров-металлургов и произошло по следующим причинам: в условиях изменения форм собственности и общественных социально-экономических отношений отмерло централизованное прикрепление вузов к предприятиям – базам практик, естественным образом ограничили возможности трудоустройства практикантов на рабочие места, в государственных образовательных стандартах произошло значительное сокращение общей продолжительности практик, финансовые претензии предприятий к образовательным учреждениям – заказчикам практики – значительно превышают их реальные возможности, обучаемые психологически и организационно оказались не готовы к длительным стажировкам без оплаты в условиях предприятий. Закономерным следствием явилось ухудшение практической подготовки обучаемых, отмечаемое практически всеми руководителями образовательных учреждений, осуществляющих подготовку рабочих и специалистов металлургического профиля. Исключение составляет лишь Юргинский технологический институт, осуществляющий подготовку инженеров-металлургов в течение 6 лет в рамках интегрированной системы «завод-вуз». Следует отметить, что и мировая (европейская, американская и другие) система профессионального образования также испытывает значительные сложности с практической подготовкой обучаемых, при этом большинство образовательных учреждений вообще не включают практику в структуру образовательных услуг. Таким образом, отмечаемая в целом явно недостаточная практическая подготовка будущих металлургов затрудняет их переход из образовательной в профессионально-производственную среду, обуславливает необходимость разработки адаптационных технологий.

Учитывая изложенное, сегодня необходимо планировать следующие первоочередные мероприятия по преодолению кризисной ситуации, интегрирующие усилия Департамента науки и профессионального образования Кемеровской области, Департамента промышленности Администрации Кемеровской об-

ласти, образовательных учреждений и металлургических предприятий:

- содействовать возрождению и дальнейшему развитию региональной системы улучшения практической подготовки выпускников (совершенствование договорных отношений, утверждение статуса базового для организации практики предприятия, разработка профессионально-финансового механизма компенсации затрат и др.);
- содействовать разработке, принятию и реализации под руководством научного совета по проблемам развития региона при Губернаторе Кемеровской области межведомственного делового партнерского соглашения «Социальное партнерство учреждений профессионального образования и предприятий-работодателей в вопросах организации практики как важнейшей составляющей формирования современного регионального кадрового потенциала»;
- металлургическим предприятиям и профессиональным образовательным учреждениям принять в 2005 г. тактико-стратегические решения по взаимодействию в вопросах организации и проведения практик на приемлемых для обеих сторон условиях, разработать и реализовать новые организационно-содержательные формы проведения практики обучаемых в учреждениях профессионального образования металлургического профиля на предприятиях региона;
- выступить с инициативой проведения в 2005 г., принять участие в организации и работе регионального совещания-семинара «Практика в системе профессиональной подготовки как основной фактор повышения конкурентоспособности выпускников на рынке труда: социально-правовые, методические и организационные аспекты».

Представленные материалы характеризуют влияние ряда факторов на качество подготовки будущих металлургов в настоящее время. Наряду с этим усиливается тревога и за ближайшее будущее, связанная с начинающейся в 2005 г. реализацией Россией Болонских обязательств по участию в формировании сопоставимой и совместимой общеевропейской системы подготовки кадров через бакалавриат и магистратуру. Переход на

и магистратуру. Переход на двухуровневую подготовку бакалавр-магистр неизбежно приведет к следующим изменениям:

- переход на государственном уровне к 4-х летнему ВПО как базовому и естественной экономии государственных средств, вкладываемых в систему ВПО, на 20 %;
- 2-х летнее обучение от уровня бакалавра до магистра становится платным и массово недоступным;
- качественная подготовка специалистов с ВПО по 4-х летней программе для таких профессионально сложных сред как металлургия становится невозможной: не случайно жестко определены квалификационные требования действующего государственного образовательного стандарта – подготовки инженера-металлурга заменяются в аналогичном стандарте подготовки бакалавра размытыми и расплывчатыми понятиями «профессиональной компетенции»;
- предполагаемая 2-х уровневая система нацеливает предприятия на финансирование и софинансировании подготовки магистров, создание и развитие внутрифирменных и корпоративных систем подготовки; однако констатируемый сегодня избыток инженерных кадров на металлургических производствах позволяет управляющим компаниям не спешить вкладывать средства в решение этих задач;
- переход к 2-х уровневой системе подготовки кадров может привести к невосребованности и отмиранию подготовки кадров со средним профессиональным образованием.

Учитывая изложенное, представляется целесообразным обратиться к Учебно-методическому объединению по образованию в области металлургии Федерального агентства по образованию с предложением: при внесении поправок, изменений и дополнений в Федеральный Закон «О высшем и послевузовском профессиональном образовании» для направления «Техника и технология» сохранить уровень образования «Специалист (инженер)» с продолжительностью обучения 5 лет; при выполнении обязательств Болонской конвенции при реализации, начиная с 2005 г., двухступенчатой системы ВПО рассматривать его национальный российский компонент об-

щеввропейской системы высшего образования.

7. Преемственность профессиональных образовательных программ металлургического профиля, непрерывность профессионального металлургического образования.

В настоящее время в Кузбассе сложилась комплексная система непрерывного профессионального металлургического образования, включающая основные профессиональные образовательные программы всех уровней, их варианты, реализуемые в сокращенные сроки, программы дополнительного и послевузовского профессионального образования. Ведущая роль в этой системе принадлежит СибГИУ. В рамках интеграции среднего и высшего профессионального образования наиболее востребованными являются программы «Металлургия черных металлов», «Литейное производство черных и цветных металлов», «Обработка металлов давлением», «Теплофизика, автоматизация и экология промышленных печей», «Металлургические машины и оборудование». СибГИУ также осуществляет подготовку бакалавров и магистров по направлению 550500 – Металлургия, высококвалифицированных специалистов с ученой степенью кандидата и доктора наук в рамках аспирантуры и докторантуры по научным специальностям 05.16.01. – Металловедение и термическая обработка металлов; 05.16.02. – Металлургия черных, цветных и редких металлов; 05.16.04. – Литейное производство; 05.16.05. – Обработка металлов давлением. В университете успешно функционируют кандидатский и докторский диссертационные советы по специальностям металлургического профиля, в которых в течение последних десяти лет защитили диссертации более 30 сотрудников металлургических предприятий. В рамках повышения квалификации и профессиональной переподготовки реализуются такие программы, как «Электросталеплавильное производство», «Прокатное производство», «Стандартизация и сертификация металлопродукции», «Менеджмент металлургического предприятия» и др.

8. Социальное партнерство металлургических предприятий, образовательных учреждений, органов местного самоуправления.

В настоящее время отмечается достаточно тесное социальное взаимодействие металлургических предприятий и образовательных учреждений начального и среднего профессионального образования в свое время объеди-

ненных единой ведомственной принадлежностью, сохранивших и укрепивших эти взаимодействия в дальнейшем: ЗСМК – ПУ № 67, ПЛ – № 19, КИТ; НкМК – ПУ № 11; КМК, ГМЗ – ПУ № 31; НкАЗ – ПУ № 52. Взаимодействие носит комплексный характер и охватывает размещение заказа на подготовку рабочих кадров и специалистов, модернизацию учебно-лабораторной базы, проведение практик, повышение квалификации преподавателей и мастеров производственного обучения, участие в оценке качества подготовки, содействие трудоустройству выпускников.

У ЮТИ установилось прочное научно-образовательное взаимодействие с базовым предприятием – ОАО «Юргинский машиностроительный завод».

По мнению руководства СибГИУ, уровень социального взаимодействия университета с металлургическими предприятиями региона может быть оценен как недостаточно высокий: ограничено соучастие предприятий в целевой подготовке специалистов, имеются многочисленные проблемы с организацией и проведением практик, не производятся инвестиции в модернизацию и укрепление учебно-лабораторной базы, жесткое распределение полномочий между центральным менеджментом управляющих компаний и кадровым менеджментом предприятий фактически исключает формирование совместных кратко- и долгосрочных программ подготовки и развития персонала, не востребован университетский научный потенциал. Подобная ситуация выглядит особенно удручающей на фоне результатов обследования инженерных кадров предприятий: практически вся инженерно-технологическая и управленческая элита подготовлена университетом. Только одна кафедра металлургии цветных металлов за 40 лет своей истории подготовила более 10 директоров и руководителей дирекций крупнейших предприятий компании «Русский алюминий»; целые семейные династии специалистов регионального, отраслевого, российского и международного уровней. В тоже время можно привести достаточно яркие, но немногочисленные пока примеры взаимодействия университет–предприятие:

- с ОАО «ЗСМК» подготовка персонала для машин непрерывного литья заготовок, проектирование, разработка и создание необходимого учебно-лабораторного оборудования, не имеющего российских и зарубежных анало-

гов, удостоенного наград многих образовательных и профессиональных выставок;

- с ОАО «НкАЗ» совместная реализация проекта «Корпоративный университет» компании «Русский алюминий», созданного для укрепления связей между компанией и учебными заведениями в области подготовки высококвалифицированного внешнего лояльного компании резерва, формирования имиджа компании как социально ответственного работодателя; слушателями 2-х летней программы являются прошедшие специальный отбор студенты 4 и 5 курсов специальностей «Металлургия цветных металлов» и «Литейное производство черных и цветных металлов и сплавов», которым при успешной учебе выплачивается стипендия в размере 2,0 тыс. рублей и гарантируется трудоустройство на одном из предприятий компании.

СибГИУ, как градообразующий вуз, может претендовать на более тесное взаимодействие с Администрацией г. Новокузнецка, в том числе и в формате муниципальной программы поддержки и развития ВПО, аналог которой реализуется в последние годы в однотипном муниципальном образовании России – г. Магнитогорске. Однако усилия Администрации направлены главным образом на развитие и поддержку общероссийского импорта образовательных услуг, представляемых филиалами, представительствами территориально удаленных вузов, в сфере экономики, управления и юриспруденции, то есть так называемых «рыночных» специальностей, наиболее востребованных в настоящее время населением. В тоже время город фактически возложил на университет подготовку специалистов по целому ряду регионально значимых, но достаточно затратных специальностей. Так, например, подготовка одной группы инженеров-металлургов численностью 20 человек обходится в 6 млн. рублей, а экономистов – в 3 млн. Новоявленные образовательные структуры осуществляют расхищение профессорско-преподавательского состава университета, его учебно-методических и информационных ресурсов.

9. Содействие трудоустройству выпускников.

Проведенный анализ показывает, что численность работников, занятых в металлургической отрасли, после 1993 года претерпела

значительные изменения: в черной металлургии сокращение численности составило почти 23 %, в цветной – 16 %. В 2003 году сокращение персонала на металлургических предприятиях продолжалось. В результате выпускники профессиональных образовательных учреждений испытывают сложности с трудоустройством по специальности. Количество выпускников, имеющих по окончании гарантии трудоустройства, в период с 1990 по 2004 гг. снизилось почти в 2 раза. В сложившихся условиях учреждения профессионального образования вынуждены выполнять новую социально-образовательную функцию – заниматься содействием трудоустройству своих выпускников, реализуя разные формы этой работы. Организационно-содержательный уровень этой деятельности учебных заведений во многом зависит от понимания актуальности руководством, конкретной ситуации, сложившихся традиций и других факторов. В настоящее время при СибГИУ действует учебный консультационно-методический центр профориентации и содействия трудоустройству выпускников «Карьера», получивший в 2003 году статус регионального и оказывающий методическое содействие профильным структурам образовательных учреждений, а также помощь выпускникам общеобразовательных и профессиональных учебных заведений на различных этапах профессионального становления – от раннего профессионального самоопределения до профессиональной адаптации

в условиях производства. По инициативе Департамента науки и профессионального образования при активном участии СибГИУ разработана, одобрена Администрацией Кемеровской области и принята областным Советом народных депутатов региональная целевая программа «Содействие профессиональному становлению выпускников учреждений профессионального образования Кемеровской области на 2005-2010 годы».

Заключение

Проведенный анализ образовательного потенциала учреждений профессионального образования, осуществляющих подготовку рабочих кадров и специалистов для металлургических предприятий региона, структуры, объемов и качества подготовки свидетельствует о том, что в настоящее время профильные образовательные учреждения способны обеспечить воспроизводство требуемого регионом профессионального кадрового потенциала и готовы к решению практически всех кадровых задач.

Для достижения координационного организационно-методического и партнерского единства представляется целесообразным изучить возможность и необходимость объединений образовательных учреждений металлургического профиля в ассоциацию «Металлургическое образование Кузбасса».

Г.В. Галевский, Т.А. Дмитриева*, Т.В. Киселева, В.В. Руднева, С.Г. Галевский

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

*ОАО «Новокузнецкий алюминиевый завод»

ПОДГОТОВКА КАДРОВОГО РЕЗЕРВА В СТРУКТУРЕ КОРПОРАТИВНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Рассмотрены организационная структура и программа проекта «Корпоративный университет компании РУСАЛ», а также реализация этого проекта в рамках консорциума ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет» – ОАО «Новокузнецкий алюминиевый завод» в 2003-2005 гг.

Формы взаимодействия образования, науки и производства в развитых странах весьма разнообразны: партнерство, консорциум, научные парки и т.д. Как правило, участниками их являются ВУЗы (университеты) и промышленные корпорации (фирмы, предприятия), а целью взаимодействия - не только развитие передовых технологий и повышение конкурентоспособности продукции на мировом рынке, но и усиление кадрового потенциала компании за счет притока молодых способных специалистов.

Подобное взаимовыгодное сотрудничество начинает развиваться также между российскими ВУЗами и корпорациями. Пионером в этой области можно считать компанию «Русский алюминий» (РУСАЛ), которая всегда уделяла особое внимание такому направлению своей деятельности как развитие персонала. Традиционные формы взаимодействия РУСАЛа с ВУЗами включают научно-техническое сотрудничество; подготовку специалистов по программам второго высшего образования; подготовку кандидатов и докторов наук; программы переподготовки «Суперинженер» и «Подготовка резерва»; целевые обучающие семинары; высшие алюминиевые курсы; ежегодные конференции «Алюминий Сибири». В 2003 году по распоряжению Управляющей Компании РУСАЛа № 410/03-УК от 18.09.03 открыта новая программа длительной системной подготовки внешнего резерва компании «Корпоративный

университет компании РУСАЛ» (Корпоративный университет).

Корпоративный университет представляет собой консорциум компании и ведущих профильных учебных заведений и создан для достижения следующих целей:

- подготовка высококвалифицированного лояльного персонала для компании;
- укрепление связей между компанией и учебными заведениями в области подготовки высококвалифицированных специалистов в соответствии с реальными потребностями предприятий компании;
- формирование имиджа компании как социально ответственного работодателя.

Для достижения поставленных целей необходимы поиск, отбор и обучение одаренных, способных школьников и студентов с последующим трудоустройством их на предприятиях компании. В основе процедуры отбора и оценки кандидатов на обучение в рамках программы «Корпоративный университет» лежат принципы прозрачности и открытости. Претендентами на участие в программе могут быть студенты учебных заведений – участники программы, соответствующие следующим критериям: высокая успеваемость, выраженная мотивация на достижения, способность к обучению, ориентированность на карьеру и развитие, хорошие коммуникативные способности, мобильность, лояльность к РУСАЛУ.

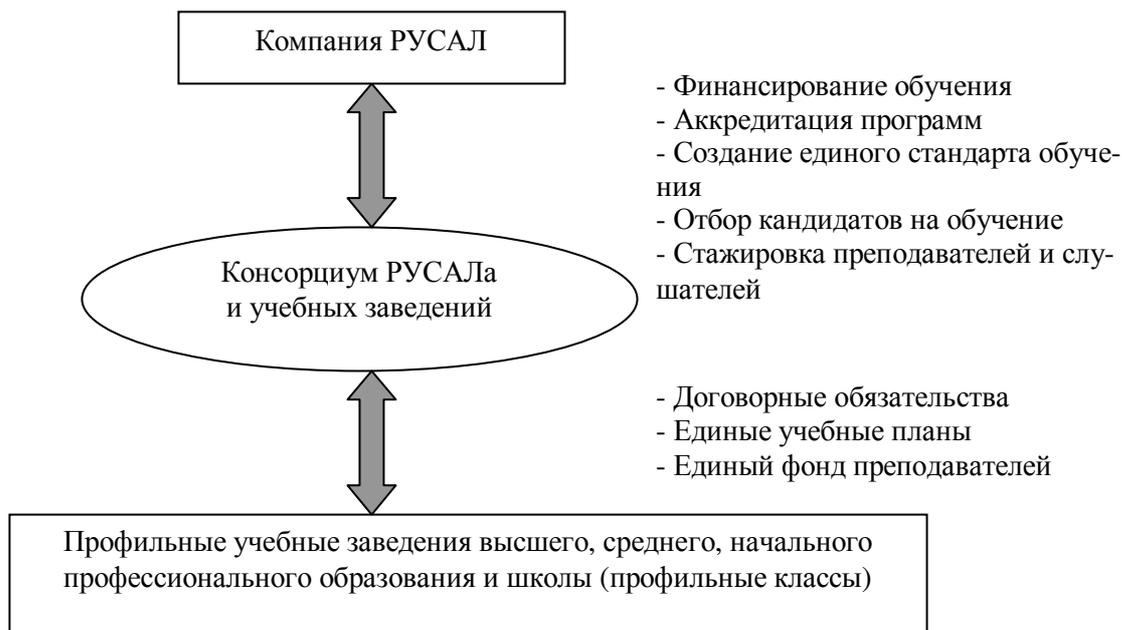


Рисунок 1 – Организационная структура Корпоративного университета компании РУСАЛ

Преимущество дает также владение компьютерными программами и английским языком. Любой студент, отвечающий критериям конкурсного отбора и заинтересованный в обучении по программе, в установленные компанией и учебным заведением сроки может подать документы для рассмотрения в конкурсную комиссию. Процедура оценки кандидатов состоит из трех этапов: рассмотрение документов комиссией, состоящей из сотрудников дирекции по персоналу компании и представителей учебных заведений; проведение тестирования по профильным и общеобразовательным предметам; проведение структурированного интервью с кандидатом. По итогам всех этапов комиссия принимает решение о зачислении кандидата в группу обучения.

Программа обучения проекта «Корпоративный университет» рассчитана на два года и состоит из четырех блоков: языковых дисциплин (английский язык), управленческих дисциплин, экономических дисциплин, технических дисциплин. Учебные дисциплины программы дополняют и углубляют дисциплины государственного образовательного стандарта по направлению «Металлургия».

Блоки экономических и технических дисциплин формируют учебные заведения – участники проекта. Они могут корректироваться в зависимости от специфики и задач конкрет-

ного предприятия. Блок управленческих дисциплин разрабатывается и утверждается компанией РУСАЛ и является обязательным. Характерным отличием программы является широкое применение тренинговых технологий, направленных на развитие личностного потенциала слушателей, формирование нового уровня навыков коммуникации и т.д. Тренинги проводят не только специалисты ВУЗов, но и корпоративные тренеры РУСАЛа.

По окончании программы обучения слушатели выполняют итоговый проект, тема которого согласуется с кураторами программы «Корпоративный университет» предприятия и учебного заведения. Основными критериями выбора темы для итогового проекта являются соответствие специальности и актуальность данной темы для предприятия компании РУСАЛ. Выпускники, успешно защитившие итоговый проект, помимо дипломов по основной специальности получают также дипломы государственного образца о профессиональной переподготовке, подтверждающие освоение программы дополнительного образования «Менеджер металлургического предприятия». С каждым слушателем программы заключается договор, гарантирующий трудоустройство на одно из предприятий компании РУСАЛ, а во время обучения выплачивается стипендия.

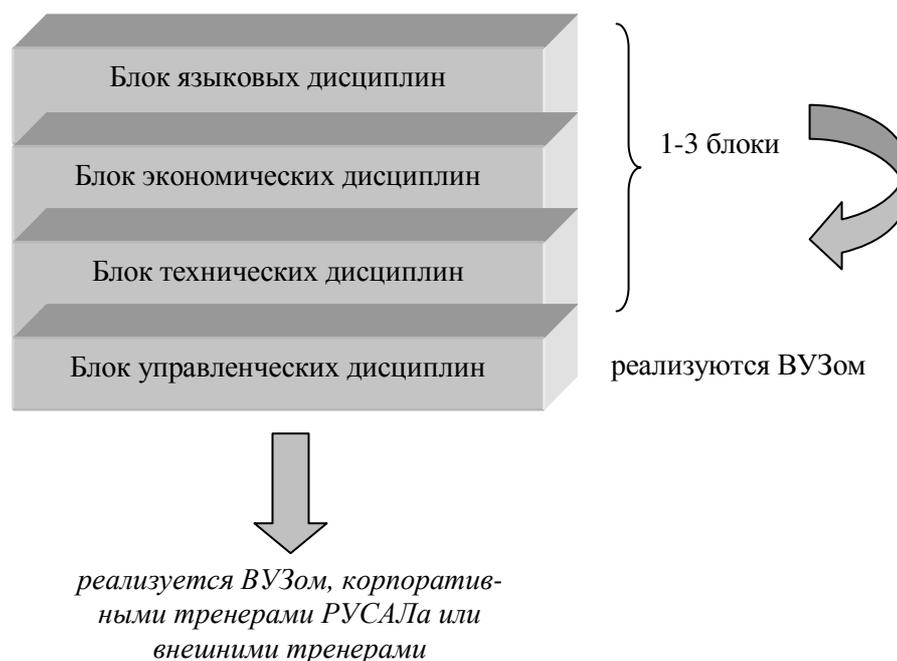


Рисунок 2 – Структура программы «Корпоративный университет»

В настоящее время программа «Корпоративный университет» реализуется в тех городах, где расположены ведущие металлургические ВУЗы России и крупнейшие алюминиевые предприятия компании РУСАЛ. В 2003-2004 учебном году партнерами стали:

- ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет» (СибГИУ) – ОАО «Новокузнецкий алюминиевый завод»;
- ГОУ ВПО «Государственный университет цветных металлов и золота» (ГУЦМиЗ) – ОАО «Красноярский алюминиевый завод»;
- ГОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет» (ИрГТУ) – ОАО «Братский алюминиевый завод»

и были сформированы первые группы слушателей из студентов старших курсов указанных вузов. В 2004-2005 учебном году набор слушателей был продолжен и сформированы новые учебные группы. Состав групп определялся потребностью предприятия – заказчика в инженерах той или иной специальности и варьировался в широких пределах.

В соответствии с потребностями предприятий и составом групп корректировались также учебные планы программы. Так, в блок технических дисциплин для слушателей «Корпоративного университета» в СибГИУ набора 2004-2005 учебного года вошла не только дисциплина «Современное состояние отечественного и мирового производства алюминия», но и дисциплина «Перспективные технологии производства литых изделий из сплавов на основе алюминия».

Таблица 1 – Состав групп слушателей программы «Корпоративный университет» в СибГИУ

Наименование специальности	Количество слушателей			
	2003-2004 уч. год		2004-2005 уч. год	
	абс.	%	абс.	%
Металлургия цветных металлов	6	100	5	42
Литейное производство черных и цветных металлов	0	0	6	50
Финансы и кредит	0	0	1	8
Всего,	6	100	12	100
в том числе девушек	0	0	0	0

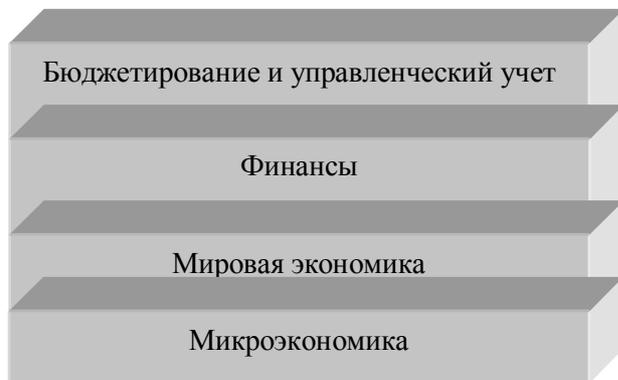


Рисунок 3 – Блок экономических дисциплин программы «Корпоративный университет»

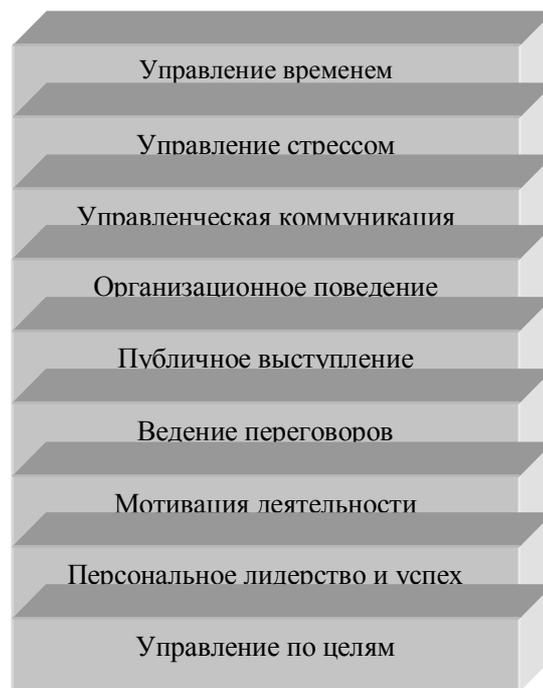


Рисунок 4 – Блок управленческих дисциплин программы «Корпоративный университет»

Таблица 2 – Состав групп слушателей программы «Корпоративный университет» в ГУЦМиЗ

Наименование специальности	Количество слушателей			
	2003-2004 уч. год		2004-2005 уч. год	
	абс.	%	абс.	%
Металлургия цветных металлов	13	50	4	20
Литейное производство черных и цветных металлов	8	31	0	0
Автоматизация технологических процессов и производства	2	8	7	35
Управление качеством	2	8	0	0
Инженерная защита окружающей среды	1	3	1	5
Обработка металлов давлением	0	0	5	25
Металловедение и термическая обработка металлов	0	0	2	10
Производственный менеджмент	0	0	1	5
Всего,	26	100	20	100
в том числе девушек	9	34	6	30

Участие в программе «Корпоративный университет» потребовало от ВУЗов решения ряда задач:

- формирование профессорско-преподавательского состава;
- методическое обеспечение учебных дисциплин;
- создание учебно-информационных ресурсов нового уровня, качественно отличающихся от используемых при освоении основной образовательной программы.

В СибГИУ к участию в программе «Корпоративный университет» привлечены высококвалифицированные преподаватели кафедр «Иностранный язык», «Основы экономической теории», «Финансы и кредит», «Бухгалтерский учет и аудит», «Металлургия цветных металлов», «Литейное производство», преподаватели и психологи регионального учебного консультационно-методического центра профориентации и содействия трудоустройству выпускников «Карьера», корпоративные тренеры РУСАЛа.

Таблица 3 – Качественный состав преподавателей, участвующих в программе «Корпоративный университет» в СибГИУ

Наименование блока дисциплин	Качественный состав преподавателей, %			
	доцент	профессор	психолог	корпоративный тренер РУСАЛа
Блок языковых дисциплин	100	0	0	0
Блок экономических дисциплин	100	0	0	0
Блок управленческих дисциплин	25	0	50	25
Блок технических дисциплин	50	50	0	0

Большое внимание было уделено методическому обеспечению учебного процесса: разработаны программы учебных дисциплин, подготовлены методические указания к проведению занятий, подобраны комплекты задач, упражнений, тестов, составлены экзаменационные билеты и вопросы к зачетам, сформирован фонд основной и дополнительной литературы для всех дисциплин учебного плана.

Основной целью изучения дисциплин языкового блока является обучение слушателей программы «Корпоративный университет» практическому владению разговорно-бытовой речью и общетехнической лексикой для активного применения английского языка в повседневном и профессиональном общении. Практическое владение языком позволит самостоятельно работать с литературой на английском языке. Поэтому основное внимание на занятиях уделяется умению обучаемых уверенно пользоваться наиболее употребительными языковыми средствами в основных видах речевой деятельности: говорение, аудирование, чтение и письмо. Для успешной адаптации слушателей в англоязычной среде к проведению занятий привлекаются зарубежные преподаватели.

Задача изучения дисциплины «Микроэкономика» заключается в углублении знаний слушателей по таким вопросам как закономерности функционирования и развития экономической системы; основные принципы и мотивы поведения всех субъектов рынка; особенности функционирования фирм в современных условиях; основы предпринимательских мотиваций; движение экономических ресурсов. Изучение дисциплины «Мировая экономика» позволит слушателям владеть методами анализа и оценки сложных явлений международных экономических отношений, иметь представление о природе и тенденциях развития мировой экономики и формах международных экономических связей, международном разделении труда; знать международную торговлю, мировой рынок капитала, международные валютные отно-

шения, мировой рынок рабочей силы, платежный баланс; знать и понимать место и роль экономики России в мировой экономике, взаимосвязь и взаимовлияние национальной и мировой экономики; иметь представление о методах и инструментах государственного и межгосударственного регулирования мирового рынка, валютной системы и методах проведения валютно-финансовых расчетов, видах валютных систем и их основных компонентов. В процессе обучения дисциплине «Бюджетирование и управленческий учет» у слушателей формируются теоретические знания и развиваются практические навыки в области моделирования учетных систем и использования учетной информации для принятия управленческих решений и контроля, а также знания в области бюджетирования. Изучение финансового менеджмента позволит слушателям успешно решать вопросы финансирования банковского и коммерческого кредитования предприятия в своей практической деятельности, ориентироваться в потоке финансовой информации и в изменениях законодательного и нормативного характера. Среди экономических дисциплин наиболее сложной для слушателей оказалась дисциплина «Финансы». Поэтому программа данной дисциплины была адаптирована для слушателей – нефинансистов и значительное количество занятий посвящено решению ситуационных задач, анализу конкретных примеров работы алюминиевых заводов при активном участии слушателей, а также подготовке слушателями мини-докладов по наиболее сложным вопросам финансового менеджмента с последующим дискуссионным обсуждением их.

Цель изучения дисциплин управленческого блока состоит в формировании у слушателей программы навыков эффективного управления временем, ведения переговоров, анализа и управления поведением индиви-

дов и групп в организации, управления мотивацией персонала; повышении способности слушателей к адаптации в стрессовых ситуациях, расширении компетенции будущих специалистов в области управленческой коммуникации; обучении технологии публичного выступления; развитии навыков естественного лидерства. Эти цели достигаются с помощью тренингового метода активного обучения, использующего следующие основные приемы: анкетирование, психологическое тестирование, информирование, групповая дискуссия, публичное выступление, психотехнические упражнения, ролевая, деловая, имитационная игры; ситуационный анализ; психодрама; методы психологической релаксации и медитативной техники и т. д. В итоговых анкетах слушатели отметили важность всех дисциплин управленческого блока, положительный результат для себя лично от работы в тренингах, предложили увеличить объем тренингов, вызвавших наибольший интерес («Публичное выступление» и «Ведение переговоров»).

Изучение слушателями дисциплины «Состояние мирового и отечественного производства алюминия» осуществляется с использованием в качестве базового метода обучения обзорных проблемных лекций с обсуждением на занятиях лишь наиболее важных тенденций совершенствования и развития технологий получения первичного и вторичного алюминия и анализом конкретных ситуаций современного производства при активном участии аудитории. Такой метод обучения требует от слушателей предварительной глубокой проработки лекционного материала, тематика которого сообщается им в начале семестра. Самостоятельная работа участников программы «Корпоративный университет» включает обязательную подготовку к лекционным, практическим и семинарским занятиям, реферативную работу, работу с литературой и в сети Интернет, подготовку докладов и выполнение выпускной работы.

Проблему учебно-информационного обеспечения программы «Корпоративный университет» в некоторой степени позволяет решить цикл учебных пособий для подготовки инженеров-металлургов алюминиевых предприятий «Металлургия алюминия: производство, экология, экономика», созданный преподавателями кафедры «Металлургия цветных металлов» СибГИУ в 1998 – 2004 гг. Кроме того, специально для слушателей программы «Корпоративный университет» в 2004 году издано учебное пособие «Металлургия алюминия. Мировое

и отечественное производство: оценка, тенденции, прогнозы» и подготовлено к изданию учебное пособие «Перспективные технологии производства литых изделий из сплавов на основе алюминия».

Накопленный двухлетний опыт успешного функционирования в СибГИУ программы «Корпоративный университет» показал ее жизнеспособность, эффективность, востребованность временем и привлекательность для всех участников. Социологическое обследование слушателей, преподавателей, ведущих специалистов образовательного и кадрового менеджмента университета и предприятия позволило провести ранжирование наиболее привлекательных для каждой из сторон достоинств программы, представленных ниже в порядке убывания их значимости.

Для университета:

- гарантированное трудоустройство выпускников;
- повышение заинтересованности и ответственности в освоении основной образовательной программы студентов – участников «Корпоративного университета», что благоприятно сказывается на успеваемости академической группы в целом;
- модернизация материально-технической базы;
- активизация учебно-методической работы;
- создание дополнительных рабочих мест для сотрудников.

Для слушателей:

- усиление мотивации к учебе;
- возможность пройти дополнительную подготовку в области управления, экономики, металлургии, английского языка;
- получение диплома государственного образца о профессиональной переподготовке по программе "Менеджер металлургического предприятия";
- гарантированное трудоустройство;
- материальное стимулирование учебы;
- развитие личностного потенциала;
- воспитание корпоративной культуры, принятие корпоративных ценностей;
- возможность быстрого карьерного роста;

- сокращение периода адаптации в компании.
 - дальнейшее развитие корпоративной системы профессионального обучения и образования;
- Для предприятия:
- формирование высококвалифицированного, мобильного, коммуникативно-активного, лояльного по отношению к компании кадрового потенциала;
 - соучастие в разделении труда при подготовке высококвалифицированных специалистов между университетом и предприятием;
 - лидерство компании в конкурентной борьбе за перераспределение трудовых резервов между отраслями экономики в условиях постоянно сокращающейся численности трудового населения России;
 - социальная значимость проекта для региона.

УДК 371.64/.69:[621.746.5:669.18]

Е.В. Протопопов, Л.А. Ганзер

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

ФОРМИРОВАНИЕ НАВЫКОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ НА ТРЕНАЖЕРЕ ОПЕРАТОРА МНЛЗ

Рассмотрены вопросы совершенствования подготовки инженеров-металлургов с применением тренинговых технологий. Изложены современные концепции, технологии, модели и средства обучения для формирования навыков управления технологическим процессом непрерывной разливки стали.

Несмотря на все сложности, которые испытывает система высшего профессионального образования, в настоящее время большое внимание уделяется качеству подготовки выпускников, их потенциалу, востребованности, активному участию в преобразовании нашей жизни.

Прежний подход к обучению инженеров-металлургов, предполагающий глубокую теоретическую подготовку выпускников, которые после окончания вуза доучивались на производстве, в настоящее время уже не постоятелен. Сегодня на производство должен прийти практически подготовленный специалист, способный сразу активно включиться в работу.

Требуемый уровень подготовки специалистов могут обеспечить интеллектуальные компьютерно-тренинговые системы и технологии. Тренажеры уже давно являются неотъемлемой принадлежностью учебно-тренировочных центров в космонавтике, авиации, атомной и тепловой энергетике. В

высшей школе широкое распространение получили обучающие системы «Доменщик», «Сталевар мартеновской печи», «Конвертерщик», «Сталевар дуговой сталеплавильной печи», которые построены с применением современной вычислительной техники, обладают широкими возможностями и представляют собой комплекс взаимодействующих программных продуктов – интерактивных обучающих моделей производственных процессов и агрегатов с расширенной визуализацией средствами мультимедиа и дистанционного обмена информацией с промышленными системами, что создает у студентов эффект присутствия на реальном производственном объекте [1].

Одной из последних разработок в этом направлении является учебно-тренажерный комплекс по непрерывной разливке стали, созданный в Сибирском государственном индустриальном университете совместно с Западно-Сибирским металлургическим комбинатом (рисунок 1).



Рисунок 1 – Тренажер оператора МНЛЗ

Учебно-тренажерный комплекс представлен в виде имитатора МНЛЗ, разработанного на принципах физико-математического моделирования процесса непрерывной разливки стали. С помощью физической модели отображается движение жидкого металла на участке промежуточный ковш – кристаллизатор. Моделирующая жидкость при этом циркулирует по замкнутому контуру и имитирует заполнение промежуточного ковша, подачу металла в кристаллизатор и вытягивание слитка. Изучение технологического процесса охватывает в реальном времени все производственные операции в режиме стопорной и бесстопорной разливки стали через стакан-дозатор.

Управление обучающе-тренинговой системой выполнено на двух уровнях автоматизации [2]. Нижний уровень осуществляет контроль параметров процесса, блокировки, выдачу аварийных сигналов и обработку заданий на управляющие воздействия. Управляющие блоки гидравлической имитации движения жидкого металла реализуют свои функции с использованием программируемого логического контроллера, подключенного к датчикам расхода и преобразователям разности давления моделирующей жидкости, потенциометрам для контроля положения стопора и датчикам положения стопора промежуточного ковша, а также исполнительным механизмам.

На верхнем уровне управления супервизором осуществляется задание управляющих воздействий. Программные средства обучающего тренажера обеспечивают моделирование динамического поведения отдельных узлов машины и управляющих команд, а также визуализацию движения металла на участке промежуточный ковш – кристаллизатор. Использование персональных компьютеров, объединенных в информационную сеть, по-

зволяет одновременно изучать особенности процесса по всей технологической оси машины.

Процесс обучения в учебно-тренажерном комплексе осуществляется малыми группами по 3-4 человека в режиме индивидуального компьютерного тренинга: студенты знакомятся с принципиальной схемой машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) и с функциями различных пультов управления, получают полное представление о последовательности операций на МНЛЗ и анализируют возможные аварийные ситуации, затем выбирается марка разливаемой стали и обосновываются основные параметры процесса для заданной емкости сталеразливочного ковша и сечения кристаллизатора. Уточняется температурно-скоростной режим процесса и особенности дозирования металла, подаваемого в кристаллизатор (рисунок 2).

Затем обучаемый выполняет ряд организационных операций, связанных с подготовкой установки. Производится проверка готовности электрического, механического оборудования, проверяется уровень моделирующей жидкости в промежуточном ковше и кристаллизаторе. По готовности установки формируется задание и разрешение на разливку данной плавки. С помощью блока задания исходных условий данные о конструкции машины, емкости сталеразливочного и промежуточного ковшей, температуре металла, технологических параметрах, уровне металла в промежуточном и сталеразливочном ковшах передаются на соответствующие блоки задания управляющих воздействий и управляющие блоки гидравлической имитации движения жидкого металла.

При этом открывается шиберный затвор сталеразливочного ковша и начинается наполнение промежуточного ковша. При достижении определенного уровня в промежуточном ковше открывается его стопор и заполняется кристаллизатор в том или ином режиме в зависимости от технологических параметров процесса и имеющейся дополнительной информации. Затем включается привод вытягивания, и ручей выходит на заданную скорость разливки, соответствующие параметры первичного и вторичного охлаждения, а также циклов качания кристаллизатора.

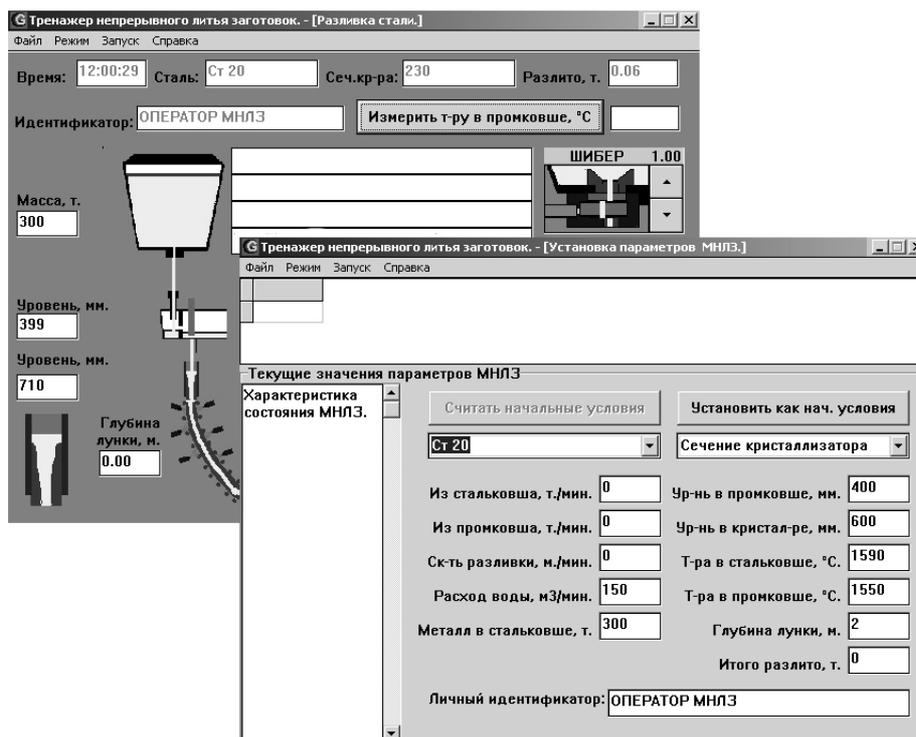


Рисунок 2 – Окна для ввода начальных параметров процесса

В режиме ручного управления обучаемый регулирует положение стопора промежуточного ковша непосредственно от рычага или от кнопок дистанционного пульта. Переход на ручное управление выполняется переключением соответствующих тумблеров на пультах управления, при этом задание на скорость вытягивания заготовки формируется уже от потенциометра, а не от программируемого логического контроллера.

Изучая влияние различных факторов, возникающих в процессе разливки (изменение скорости разливки, температуры металла, расходной характеристики стакана-дозатора промежуточного ковша при его разрушении или затягивании неметаллическими включениями), студент принимает соответствующие управляющие воздействия, обеспечивающие нормальный ход разливки плавки.

По окончании разливки студенты должны проанализировать весь ход процесса, начиная с момента автостарта до полной остановки машины, обосновать внесенные управляющие воздействия и отклонения технологических параметров процесса от рекомендуемых (рисунок 3).

Такой подход обеспечивает избирательный тренинг, исходя из результатов текущей работы и контроль квалификации по основным аспектам профессиональной деятельности, прежде всего здесь регламентируется:

- технологичность и управление процессом разливки;
- безопасность и экологичность выбранного режима;
- экономическая эффективность процесса и качество продукции;
- предупреждение и устранение аварийных ситуаций.

При этом расширяются знания по конструкции технологического оборудования и диагностике состояния агрегата, обеспечивается формирование рациональных технологических навыков управления процессом непрерывной разливки, в том числе в аварийных ситуациях (рисунок 4). Необходимо отметить, что возможность моделирования аварийных ситуаций, в частности при ручном управлении непрерывной разливкой, представляет собой одно из наиболее существенных преимуществ, поскольку при этом приобретает опыт и отрабатываются навыки безопасного управления в аварийных ситуациях при разливке на действующей машине непрерывного литья заготовок.

Учебный процесс при этом значительно упрощается и становится более эффективным, что позволяет повысить качество подготовки инженеров-металлургов, сократить сроки обучения и время адаптации специалистов на производстве.

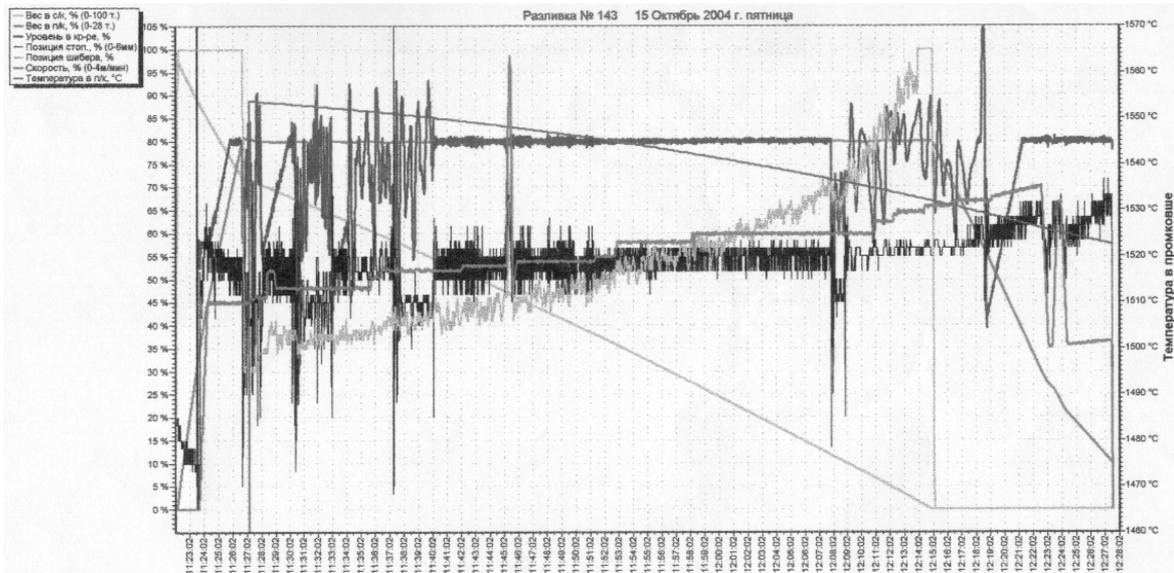


Рисунок 3 – Изменение технологических параметров

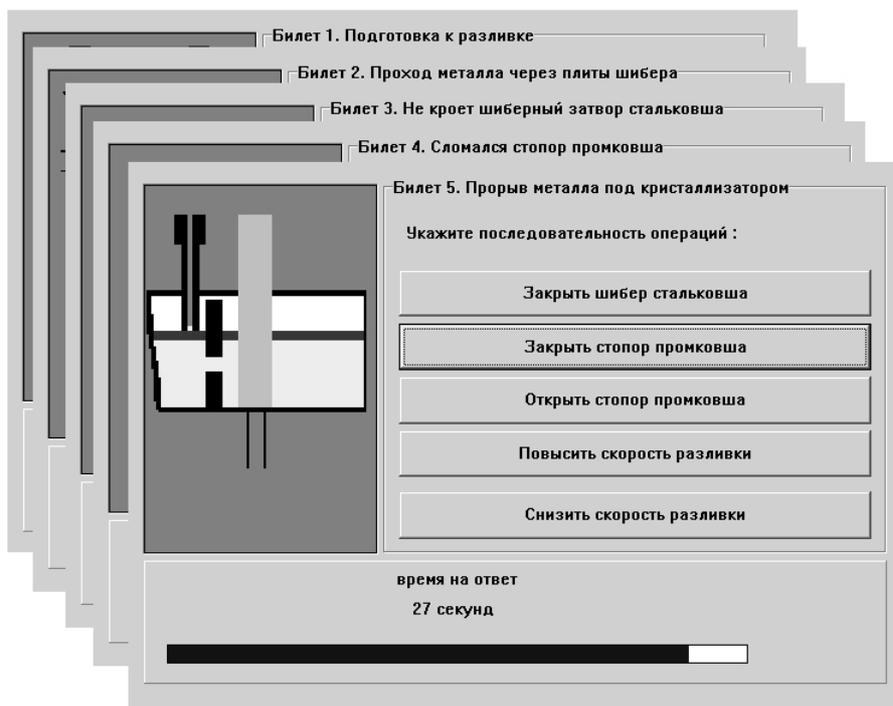


Рисунок 4 – Типичная маска на дисплее для контроля практических навыков управления МНЛЗ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обучающе-тренинговые компьютерные дидактические системы и технологии в сфере технического образования: Сборник научных трудов / СибГИУ; Под ред. С.П. Мочалова. – Новокузнецк, 2004. – 153 с.

2. Патент России № 2226006. Тренажер оператора системы управления непрерывной разливкой стали / А.Н. Лаврик, Е.В. Протопопов, В.В. Соколов и др. // Изобретения. Полезные модели. 2004, № 7.

В.Е. Громов, Н.К. Дорошенко, Т.В. Ерилова, З.А. Масловская

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

ФИЗИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ ОБРАЗОВАНИЮ СТУДЕНТОВ (НА ПРИМЕРЕ РАДИОАКТИВНОСТИ)

В работе рассмотрено радиоактивное излучение и его свойства. Отдельно выделено биологическое действие ионизирующего излучения и вопросы радиоэкологии. Особенно актуальной является проблема радиоактивного загрязнения окружающей среды. В процессе преподавания такой дисциплины как физика необходимо сформировать экологическую культуру специалиста. Глубокое понимание физических законов позволит при создании технических систем, обслуживающих людей, избежать многих роковых ошибок.

Известно, что экология как наука, изучающая условия жизни организмов, развивалась в тесной связи с такими естественными науками как химия, физика, биология. Поэтому для формирования экологического миропонимания студентам очень важно глубоко познать физические законы.

В начале 50-х годов 20-го столетия серьезную озабоченность у мировой общественности вызвало радиоактивное излучение. Открытое в 1896 году французским ученым Беккерелем, явление радиоактивности было детально исследовано Марией Кюри-Склодовской и ее супругом Пьером Кюри. Именно они обнаружили, что уран, испуская излучение, превращается в новые элементы: полоний и радий. Радиоактивностью называется процесс самопроизвольного превращения атомных ядер одних элементов в атомные ядра других элементов, сопровождающийся выделением излучения и элементарных частиц. Предполагается, что само явление радиоактивности и связанное с ним ионизирующее излучение существовали на Земле еще до появления человека, а, возможно, и сопровождали Большой взрыв, начиная с которого существует наша Вселенная [1]. Доказательством этого служат радиоактивные материалы, входящие в состав Земли.

Радиоактивность делится на естественную (у изотопов, существующих в природе) и искусственную (у изотопов, полученных в результате ядерных реакций). Процесс радиоактивного превращения в обоих случаях протекает по одному и тому же механизму. Уста-

новлено, что никакие внешние воздействия: изменение температуры или давления, включение электрического или магнитного полей, не могут изменить интенсивность излучения. Период полураспада для известных радиоактивных веществ колеблется от $3 \cdot 10^{-7}$ с до $5 \cdot 10^{15}$ лет. Чем меньше период полураспада, тем интенсивнее протекает распад. С течением времени скорость распада не меняется, а радиоактивные атомы не стареют. Распад любого ядра непредсказуем – это «несчастный случай», а не «смерть от старости».

Закон радиоактивного распада – статистический закон, он справедлив для большого числа атомов. Возникающие при радиоактивном распаде ядра также могут быть радиоактивными и вновь распадаться. Так может появиться целый ряд радиоактивных превращений.

Открытие радиоактивности оказало огромное влияние на развитие науки и техники. За работы в этой области было присуждено более 10 Нобелевских премий.

Свойства радиоактивного излучения.

Это излучение обладает большой проникающей способностью, химическим действием, засвечивает фотопластинку, вызывает ионизацию газов и твердых тел, возбуждает флуоресцентное свечение ряда твердых тел и жидкостей. Свойства радиоактивного излучения положены в основу методов, позволяющих его обнаружить и оценить интенсивность излучения. Калориметрические исследования показали, что радиоактивное излучение может

сопровождаться выделением энергии. Еще супруги Кюри обнаружили, что 1 г радия выделяет в час около 102 Дж тепла. Так человечество получило совершенно новый, невиданный ранее источник энергии.

Биологическое действие ионизирующего излучения

По-видимому, радиоактивные материалы вошли в состав Земли с самого ее рождения, и даже в каждой живой клетке присутствуют следы радиоактивных веществ. Существует гипотеза [3], что ионизирующее излучение было одним из факторов, способствовавших зарождению жизни на Земле. Если бы не было естественного радиационного фона, то не было бы многих генетических мутаций, и природа не была бы так разнообразна. Живая ткань поглощает энергию, при этом происходит возбуждение и ионизация атомов облучаемого вещества. Затем в клетках этой ткани происходят функциональные изменения, нередко приводящие к их гибели. Радиационный фон Земли складывается из космического излучения, излучения рассеянных в земле, воде и воздухе естественных радионуклидов, а также излучения от искусственных радионуклидов, образовавшихся при испытаниях ядерного оружия или от радиоактивных отходов атомной промышленности. Космическое излучение максимально на Северном и Южном полюсах, в экваториальной области оно значительно меньше, так как магнитное поле Земли отклоняет заряженные частицы.

Радиация и жизнь

В 1903 году Пьер Кюри при вручении ему Нобелевской премии сказал: «Нетрудно предвидеть, что в преступных руках радий может сделаться крайне опасным. Я принадлежу к числу тех, которые, подобно Нобелю, считают, что все же новые открытия в конечном счете приносят человечеству больше пользы, чем вреда» [2]. В 1942 году в Чикаго был пущен под руководством итальянского физика Ферми первый атомный уран-графитовый реактор. Он позволил получить материал для атомной бомбы – плутоний $^{239}_{94}\text{Pu}$. И когда над горизонтом в штате Невада зажегся ослепительный огненный шар, затмивший Солнце, Оппенгеймер (создатель атомной бомбы) произнес фразу: «Если тысячи Солнц вспыхнут разом над миром, человек станет смертью, угрозой Земле». Это отрывок из древнеиндийского эпоса «Махабхарата».

6 августа 1945 года США сбросили на Хиросиму первую атомную бомбу в 20000 т тротилового эквивалента (сила взрыва такая же, как от 20000 т тротила). Было убито и ранено свыше 140 тыс. человек. 9 августа этого же года была сброшена атомная бомба на Нагасаки. Убито и ранено было 75 тыс. человек. Так закончилась 2-ая мировая война.

Применение атомной энергии в мирных целях было впервые осуществлено в СССР в 1954 году под руководством И.В. Курчатова. Была построена первая атомная электростанция мощностью 5000 кВт. На «мирный атом» возлагались большие надежды. До недавнего времени взрыв на реакторе казался невозможным. Но 26 апреля 1986 года произошла одна из самых крупных в истории Земли катастроф на Чернобыльской АЭС. Реактор 4-го энергоблока выбросил 50 т ядерного топлива, которое испарилось, и при этом в атмосферу попало в 600 раз больше долгоживущих радионуклидов, чем при взрыве атомной бомбы в Хиросиме [4]. Загрязненной оказалась территория общей площадью в сотни тысяч км², на которой проживали миллионы человек. Практически навсегда выведены из строя сотни тысяч гектаров сельскохозяйственных угодий, множество водных источников.

Особенность радиоактивного поражения состоит в том, что оно убивает безболезненно. В течение последних 50 лет каждый человек на Земле подвергался облучению, связанному с испытанием ядерного оружия. Сейчас уже доказано, что пик заболеваемости (лейкозы, рак щитовидной железы и другие онкологические заболевания) отстает от события на несколько лет [5]. После Чернобыльской аварии резко увеличилось число детей с врожденными пороками развития. В Гомельской области заболеваемость раком щитовидной железы у детей возросла с 0,25 на 100 тыс. человек в 1986 г до 12 в 1992 г. Нужно учитывать также и тот факт, что радиационное заражение влияет на потомство, оно может коснуться и тех, кто пока еще не родился. Конец 20-го века ознаменовался глобальными изменениями окружающей среды, которые обусловлены хозяйственной деятельностью человека. Особую тревогу вызывает повышение радиационного фона. Сейчас для России он составляет в норме 10-20 мкР/час. Радиоактивные отходы (РАО) образуются на всех стадиях ядерного цикла, но больше всего в процессе переработки отработанного ядерного топлива (ОЯТ). Ежегодно количество ОЯТ увеличивается, примерно, на

10 тысяч тонн, а в России – на 1 тысячу тонн. За год все АЭС мира дают радиоактивное загрязнение, эквивалентное полученному от взрыва атомной бомбы мощностью 5000 Мт. Каждая АЭС, кроме ОЯТ, дает еще в атмосферу газообразные, а в водоемы жидкие радиоактивные отходы [6]. Добыча и обогащение урановой руды, получение топлива для АЭС также вносят свой вклад в РАО. Общая радиоактивность на территории нашей страны в 1999 году составила приблизительно 8,5 млрд Кюри, что в 100 раз превосходит выброс в Чернобыле. Запасы ОЯТ, накопленные сейчас в густонаселенных районах России (около Санкт-Петербурга, в Курске, Смоленске) уже создают угрозу. Радионуклиды обладают способностью накапливаться внутри клеток, в органах и тканях. При этом возможно поражение аппарата ДНК и РНК клетки. Продолжительное облучение в ничтожных дозах оказывает влияние на развитие плода, увеличивает младенческую и детскую смертность и общую заболеваемость. Чтобы избежать экологической катастрофы, необходимо руководствоваться следующими соображениями: 1) радиоактивные отходы не должны оказывать вредного воздействия на человека и окружающую среду; 2) современное поколение должно обеспечивать безопасность РАО, а не оставлять эту проблему для решения следующим поколениям.

Сейчас накопление РАО в мире таковы, что они могут составлять реальную угрозу безопасности всего живого. Поэтому роль физики (и физиков) в решении проблемы утилизации этих отходов трудно переоценить. Лишь углубленный “физический” анализ создавшейся ситуации может помочь найти выход из нее и защитить человечество.

Сейчас в России дают электроэнергию 11 действующих АЭС, имеется 31 реактор, 7 атомных ледоколов, 170 подводных лодок. Все отработанное оборудование: конструкции, трубопроводы, стенки реакторов и т.д. также становятся радиоактивными. Поэтому обезопасить нужно все виды отходов. В настоящее время большинство стран свое ОЯТ не перерабатывает, а хранит во временных хранилищах при АЭС, надеясь, что скоро будут найдены кардинальные методы уничтожения этих отходов.

В природную среду поступает большое количество радионуклидов, извлекаемых из недр Земли вместе с углем, нефтью, газом, минеральными удобрениями, строительными материалами. В результате хозяйственной деятель-

ности человека также получается несколько сотен искусственных радионуклидов. Установлено, что радиоактивное загрязнение при переработке радиоактивных отходов значительно больше, чем загрязнение при работе АЭС. В настоящее время химическая переработка ОЯТ ведется во Франции, Великобритании и России. В Швеции и Швейцарии остеклованные высокоактивные РАО помещают в стальные контейнеры с толщиной стенок 30 см, затем погружают их в бетонные емкости с толщиной стен в 1 м и зарывают в кристаллические горные породы на глубину более 1000 м. Предполагается, что такие отходы смогут храниться до 100 тыс. лет. В России в последние годы также стали отверждать и компактировать жидкие высокоактивные РАО на Ленинградской, Калининской, Балаковской АЭС и на ПО «Маяк» в Челябинской области. В компактной остеклованной (битумированной, цементированной) форме такие отходы легче хранить, можно надежно обеспечить их изоляцию на длительное время. В Красноярске-26, Томске-7 и в районе Димитровграда Ульяновской области по-прежнему закачивают жидкие РАО прямо в землю под давлением на глубину более 100 метров. Сейчас появилась новая технология – это трансмутация как технология утилизации ОЯТ. Но пока есть только лабораторные исследования. Для реализации современной теоретической схемы трансмутации необходимо построить реактор на быстрых нейтронах, работающий совместно с ускорителем. Такой комплекс будет стоить около 3 млрд. долларов, а для переработки 30-40 тыс. тонн ОЯТ в год нужно не менее двух комплексов.

В январе 2002 года в средствах массовой информации появилось сообщение о том, что ученые Новосибирска применили новый подход к решению проблемы по переработке ОЯТ. Они предложили делать брикеты из бентонитовых глин с небольшим содержанием радиоактивных отходов. Снаружи эти брикеты имеют слой бентонитовой глины, который специально остеклован. Захоронения таких брикетов, покрытые сверху землей, через 300-500 лет превратятся в зеленую лужайку.

«Проектом века» назвали журналисты решение Государственной Думы, когда она проголосовала за изменение статьи 50 Закона «Об охране окружающей среды», открыв, таким образом, ворота для ввоза в Россию первых 20000 тонн ОЯТ из-за рубежа. За это Минатом обещали заплатить 20 млрд. долларов. Воз-

никает вопрос: «Сколько лет хранить? – Чем дольше, тем безопаснее». Минатом собирается приступить к переработке чужого ОЯТ через 20 лет. Из Федеральной целевой программы «Ядерная и радиационная безопасность России на 2000-2006 год» ясно, что все затраты идут из Федерального бюджета. Создается впечатление, что отходы от нашей переработки никто и никогда не возьмет, тем более через 20-50 лет. Затраты на «переработку-остеклование-долгосрочное обращение с отходами» по американской, более безопасной, надежной и дешевой технологии будет составлять 60 млрд. долларов. Вот почему зарубежные страны любыми способами стараются избавиться от своих радиоактивных отходов, так как это одна из главных причин, делающих атомную энергетику экономически невыгодной. Эти затраты можно значительно сократить, если применить нашу «традиционную» технологию, когда жидкие радиоактивные отходы закачивают в земные пласты, сливают в речки (печально знаменитая река Теча в Челябинской области), заполняют озера.

«Долгосрочные решения нельзя принимать из соображений сиюминутной выгоды. Ввезенное ОЯТ распространит свое смертоносное радиоактивное дыхание на многие будущие поколения» – пишет группа представителей экологических организаций России. Известно, что после всех операций с облученным топливом опять остаются радиоактивные отходы. В Англии и Франции существуют 2 завода по переработке ОЯТ, но они выполняют все работы только при условии, что заказчик гарантирует прием образовавшихся отходов. Наш Минатом возвращать отходы не собирается.

Важно отметить, что физические процессы, происходящие при хранении РАО, не изучены. Например, в Томске, где идет закачка РАО в несколько скважин, естественный радиационный фон не повышен, но временами (по мере закачки под землю) наблюдается разогрев горных пород до 150-160 °С. Здесь нельзя исключить ранее неизвестные радиотермические реакции, которые могут протекать при разных сочетаниях химических элементов. По оценке «Гринпис» с 1967 по 1993 год иностранные фирмы предприняли 96 попыток ввезти опасные отходы на территорию России.

В заключение нужно отметить, что экологотехногенная обстановка в мире и в России, в частности, постоянно ухудшается. Все чаще наблюдается отклонения от принципа Ле Шателье-Брауна, согласно которому, чем сильнее воздействие на природную систему, тем интенсивнее ее противодействие. Так было миллиарды лет, природа самовосстанавливалась. Сейчас иногда наблюдается саморазрушение природных систем. Поэтому так необходимо современному специалисту глубокое понимание экологической ситуации и ее проблем. Широкомасштабное радиационное загрязнение сегодня угрожает самому существованию нации. В результате Чернобыльской аварии опасно загрязнены 16 субъектов Российской Федерации. До сих пор дают о себе знать последствия аварий на Ленинградской АЭС в 1975 году, в ПО «Маяк», результаты ядерных испытаний на Новоземельном и Семипалатинском полигонах, проведение многих десятков подземных ядерных взрывов.

Как сказала Дубнищева Т.Я.: «Экологический кризис, поставивший человечество на грань катастрофы, вызван не научно-техническим прогрессом, а, напротив, - недостаточным распространением в обществе научных и культурных знаний, породивших благодатную почву для принятия безответственных решений» [3].

Лишь глубокое понимание физики процессов, сопровождающих радиоактивные превращения, позволит избежать впредь тех роковых ошибок, которые могут привести к глобальной катастрофе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карташев А.Г. Введение в экологию. 1998. – 382 с.
2. Евграфова Н.Н. Курс физики / Н.Н. Евграфова, В.Л. Каган. – М.: Высшая школа. – 1973. – 480 с.
3. Дубнищева Т.Я. Концепции современного естествознания: Учебник. – М.: ИВЦ Новосибирск: ООО «Издательство ЮКЭА», 2000. – 832 с.
4. Экология: Учебное пособие / Под ред. С.А. Боголюбова. – М.: Знание, 1999. – 280 с.
5. Радиация. Дозы, эффекты, риск. – М.: Мир, 1988. – 78 с.
6. Горелов А.А. Экология: Курс лекций. – М.: Центр, 2000. – 239 с.

УДК 669.017

К.А. Черепанов

Новокузнецкий филиал-институт Кемеровского государственного университета,
г. Новокузнецк

РЕЦЕНЗИЯ НА МОНОГРАФИЮ «ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ В ПРОЦЕССАХ НАГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ» / М.В. ТЕМЛЯНЦЕВ, Т.Н. ОСКОЛКОВА. – М.: ФЛИНТА: НАУКА, 2005. – 195 С.

В рецензии на монографию «Трещинообразование в процессах нагрева и охлаждения сталей и сплавов»/ М.В. Темлянцеv, Т.Н. Осколкова. – М.: Флинта : Наука, 2005. – 195 с. рассмотрены структура, содержание актуальность тематики рецензируемой монографии.

Одной из наиболее распространенных проблем, возникающих при форсированной тепловой обработке стали является трещинообразование. Заводская практика показывает, что удаление поверхностных трещин на слитках, заготовках или прокате весьма трудоемкая операция, а в некоторых случаях и малоэффективная. Внутренние трещины доставляют еще большие проблемы, нанося непоправимый урон качеству стальной продукции, к тому же их трудно обнаружить визуально, а применение дорогостоящего ультразвукового или рентгеновского оборудования требует существенных капиталовложений. В связи с этим наиболее верным путем является разработка научно обоснованных технологий гарантирующих отсутствие трещинообразования на стадии тепловой обработки. Решение данной задачи осложняется весьма широким сортаментом сталей и сплавов с существенно различающимися теплофизическими, термомеханическими и прочностными свойствами, образование трещин в которых может протекать по различным механизмам и иметь специфические особенности. Имеющаяся в специальной технической литературе информация по вопросам трещинообразования при тепловой обработке имеет, как правило, разрозненный и несистематизированный характер. В основном рассматриваются отдельные случаи разрушения металла или математические модели, позволяющие теоретически исследовать термонапряженное состояние. Слу-

чай проведения специальных экспериментальных исследований разрушения заготовок реальных размеров единичны.

Выход в свет данной монографии является существенным развитием научного направления исследований трещинообразования при тепловой обработке стали и сплавов. Монография включает обширный материал, систематизирующий практику и теорию тепловой обработки фактически за последние 50 лет, собственные исследования авторов. Монография состоит из предисловия, введения и 9 глав.

Глава 1 «Роль температурных напряжений в формировании качества стальной продукции» посвящена рассмотрению влияния температурных напряжений на качество стальной продукции. В этой главе достаточно подробно с приведением конкретных примеров рассмотрены различные виды брака металла, связанные с температурными напряжениями, представлены фотографии характерного внешнего проявления дефектов, описано влияние напряжений на эксплуатацию печей. Представленные сведения наглядно иллюстрируют актуальность исследуемой тематики.

Глава 2 «Основы теории температурных напряжений». В главе сконцентрированы основные положения теории температурных напряжений, позволяющие читателю без дополнительной литературы погрузиться в проблему, ознакомиться с основными понятиями и определениями, иногда неоднозначно и

противоречиво трактуемыми в различных литературных источниках. Представлены основные методики теоретических расчетов различных видов температурных напряжений, рассмотрены их достоинства и недостатки, области применения, точность.

Глава 3 «Обзор экспериментальных исследований температурных напряжений в процессах нагрева и охлаждения стали» посвящена систематизации имеющихся в специальной литературе данных по экспериментальным исследованиям температурных напряжений. Подробно рассмотрены методики исследования, оборудование и конструкции применяемых установок и результаты экспериментальных замеров различного рода напряжений.

Глава 4 «Основы теории разрушения стали от температурных напряжений». В главе представлены основные теоретические положения разрушения стали от температурных напряжений. Рассмотрены проблемы связанные с выбором критериев прочности, проанализированы их виды, области применения, достоинства и недостатки. Весьма содержательно рассмотрено влияние металлургических факторов на склонность стали к трещинообразованию.

Глава 5 «Обзор практических данных по нагреву различных марок сталей в металлургических печах» посвящена систематизации и анализу практических данных по нагреву стали в нагревательных печах, рассмотрены различные принципы разделения стали на группы чувствительности к трещинообразованию, показаны их достоинства и недостатки. В главе представлены данные по различным маркам сталей и формам заготовок и слитков, рассмотрены характерные условия, при которых возникает разрушение металла.

Глава 6 «Исследования предельной интенсивности тепловой обработки стали». В главе представлены собственные исследования авторов. Подробно описана оригинальная методика проведения экспериментальных исследований по допустимым интенсивностям нагрева и охлаждения стальных заготовок реальных размеров с литой и катаной структу-

рой. Представлены и проанализированы результаты экспериментальных исследований 18 распространенных углеродистых и легированных марок сталей. Авторами разработана математическая модель, на основе которой проведены исследования температурных напряжений в цилиндрических заготовках. Представлены соотношения и номограмма для расчета ограничений на управляющие и технологические параметры при форсированной тепловой обработке стали, гарантирующих отсутствие трещин.

Глава 7 «Внутренние напряжения при термической обработке» включает рассмотрение вопросов напряженного состояния при термообработке стали, содержит иллюстрированные примеры трещинообразования характерные при закалке, шлифовке, абразивной резке металла. Показаны особенности влияния закалки на структуру твердых сплавов.

Глава 8 «Охлаждающие среды при закалке» посвящена систематизации сведений по закалочным средам, применяемым для термообработки стали и сплавов. Рассмотрены как традиционно применяемые вода и масло, так и весьма перспективные новые синтетические среды. Представлены результаты собственных исследований охлаждающей способности водных растворов полимера ПК-М.

Глава 9 «Напряжения при пайке инструмента» содержит сведения по напряжениям, возникающим при пайке инструмента. Рассмотрены вопросы влияния отдельных факторов на уровень паяльных напряжений.

Монография написана авторским коллективом сотрудников кафедр теплофизики и промышленной экологии, металловедения, оборудования и технологии термической обработки металлов ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет». Предназначена для исследователей, занимающихся вопросами трещинообразования в сталях и сплавах, аспирантов и докторантов высших учебных заведений, инженерно-технического персонала промышленных предприятий и научно-исследовательских лабораторий.

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, управление и экология 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 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 подрисовочные 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 31 мая 2006 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 10.10.2005 г.
Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 18,5 Уч.-изд.л. 19,7 Тираж 300 экз. Заказ № 692

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательство СибГИУ