

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

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

Отделение металлургии

Сборник научных трудов

Издается с 1994 г. ежегодно

Выпуск 17

Под редакцией профессора Г.В. Галевского

Москва
Новокузнецк
2006

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. 17 / Редкол.: Г.В. Галевский (главн. ред.) и др.: Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2006. – 215 с., ил.
ISBN 5-7806-0239-5**

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

Федеральная целевая программа «Интеграция».

Сборник реферируется в РЖ Металлургия.

Ил. 62, табл. 35, библиогр. назв. 96

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

© Сибирский государственный индустриальный университет,
2006

ISBN 5-7806-0239-5

СВЕДЕНИЯ О РУКОВОДИТЕЛЯХ АВТОРСКИХ КОЛЛЕКТИВОВ

- 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. Международ-
ной академии энерго-информационных наук,
СибГИУ, г. Новокузнецк
- Кулагин Н.М. канд. хим. наук, проф., д.ч. МАНЭБ,
СибГИУ, г. Новокузнецк
- Павленко С.И. д-р техн. наук, проф., чл.-корр. Международ-
ной Академии инженерных наук, д.ч. Нью-
Йоркской АН, д.ч. МАН ВШ,
СибГИУ, г. Новокузнецк
- Перетятко В.Н. д-р техн. наук, проф., чл.-корр. Академии
инженерных наук, СибГИУ, г. Новокузнецк
- Протопопов Е.В. д-р техн. наук, проф., чл.-корр. Международ-
ной академии энерго-информационных наук,
СибГИУ, г. Новокузнецк
- Чернятевич А.Г. д-р техн. наук, проф., д.ч. АИН Украины,
ДГТУ, г. Днепропетровск
- Шакиров К.М. д-р техн. наук, проф., СибГИУ,
г. Новокузнецк
- Шур Е.А. д-р техн. наук, проф., ВНИИЖТ, г. Москва

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	6
МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	7
<i>В.В. Руднева</i>	8
ИССЛЕДОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПЛАЗМЕННОГО РЕАКТОРА ДЛЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ	
СООБЩЕНИЕ 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ	
<i>В.В. Руднева</i>	22
ИССЛЕДОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПЛАЗМЕННОГО РЕАКТОРА ДЛЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ	
СООБЩЕНИЕ 2. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРЕХСТРУЙНОГО ПЛАЗМЕННОГО РЕАКТОРА	
<i>В.А. Долинский, Л.Д. Никитин, Л.В. Портнов, С.Ф. Бугаев, В.П. Горбачев</i>	35
ВЫПЛАВКА ЧУГУНА С ПОНИЖЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ СЕРЫ В УСЛОВИЯХ ЗСМК	
<i>М.В. Темлянец</i>	44
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОГО ФАКТОРА НА ГЛУБИНУ ВИДИМОГО ОБЕЗУГЛЕРОЖЕННОГО СЛОЯ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ	
<i>Л.В. Корнева, Т.Н. Осколкова</i>	48
РАЗРАБОТКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СТАЛИ ДЛЯ РЕЛЬСОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ	
<i>Е.В. Протопопов, А.Г. Чернятевич, И.А. Жибинова, К.М. Шакиров, Л.А. Ганзер</i>	53
ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РЕАКЦИОННОЙ ЗОНЕ КОНВЕРТЕРА ЖИДКОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ	
<i>В.А. Долинский, А.А. Пермяков</i>	64
ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКООСНОВНОГО МАГНЕЗИАЛЬНОГО АГЛОМЕРАТА	
<i>В.Б. Деев</i>	73
МОДИФИЦИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ БАРИЕМ	
<i>В.Г. Кондратьев, Н.В. Котова, Смородин А.А., Кутукова Ю.В.</i>	78
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОВОЛОЧНЫХ СТАЛЕЙ 08Г2С, 18Г2С, 25Г2С В ПРОЦЕССЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДОВ ПОЛУЧЕНИЕМ ПРОВОЛОКИ ДИАМЕТРОМ 2 ММ	
<i>В.А. Долинский, А.А. Пермяков</i>	82
ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ МАГНЕЗИАЛЬНО-ГЛИНОЗЕМИСТОГО ДОМЕННОГО ШЛАКА	
<i>М.В. Филиппова, В.Н. Перетяцько</i>	92
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ	
<i>Л.В. Корнева, Т.Н. Осколкова</i>	97
КАЧЕСТВО РЕЛЬСОВ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ	
<i>М.И. Карпенко, В.А. Долинский</i>	101
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТИЧНО МЕТАЛЛИЗИРОВАННОГО АГЛОМЕРАТА	
Порошковая металлургия и композиционные материалы	107
<i>Галевский Г.В., Руднева В.В., Юркова Е.К.</i>	108
НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ: ОЦЕНКА, ТЕНДЕНЦИИ, ПРОГНОЗЫ	

<i>В.В. Руднева</i>	119
ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ И СТРУКТУРЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ С НАНОРАЗМЕРНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ	
<i>В.В. Руднева</i>	127
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ С НАНОРАЗМЕРНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ	
ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ	133
<i>Юрьев А.Б., Громова А.В.</i>	134
ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ ПРОВОЛОКИ	
<i>В.Р. Микрюков, Ю.Ф. Иванов, А.Б. Юрьев, С.В. Коновалов, В.Е. Громов</i>	141
ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ВРЕМЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ АРМАТУРЫ	
<i>В.И. Ворожищев, В.В. Павлов, Е.М. Пятайкин, В.Н. Перетяцько, Л.В. Филиппова, Е.А. Шур</i>	148
ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ Р65	
<i>Нагибин В.М.</i>	153
ВЛИЯНИЕ ВАНАДИЯ НА СОСТАВ ИЗОЛИРОВАННОГО ЦЕМЕНТИТА ЧУГУНА И ЕГО УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ НАГРЕВАНИИ	
ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ	158
<i>Н.С. Анашкин, С.И. Павленко</i>	159
ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ МАРТЕНОВСКИХ ШЛАКОВ (ВЫПУСКАЕМЫХ И ОТВАЛЬНЫХ) В ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ (ПЕНОСИЛИКАТ)	
<i>Л.Е. Сидорова, Р.Я. Шарафутдинов, С.В. Сидоров</i>	167
WEB-САЙТ КАК СРЕДСТВО СОЗДАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НЕПРЕРЫВНОГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАБОТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕКТА С ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ	
<i>О.В. Иваныкина, Н.В. Журавлева, А.Ю. Старыгина</i>	174
СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОТХОДАХ ГОРНО-ДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ	
ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ	180
<i>Н.М. Кулагин, Г.В. Галевский, А.В. Феохтистов</i>	181
ОПЫТ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В СИБИРСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ИНДУСТРИАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ	
<i>Е.Г. Майсеенок</i>	189
ВОСПРОИЗВОДСТВО ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ КУЗБАССА	
<i>А.Е. Корочкин, О.Я. Логунова, Т.А. Михайличенко</i>	195
КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ	
<i>М.В. Крупно, В.В. Резанов</i>	199
ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ГОРОДСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ХОЗЯЙСТВА	
<i>Т.А. Михайличенко</i>	203
НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ И ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ	
<i>М.В. Крупно, В.В. Резанов, К.А. Романов</i>	210
КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАСЧЕТАХ СИСТЕМ ВНУТРЕННЕГО ВОДОПРОВОДА	
К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ	213

ПРЕДИСЛОВИЕ

17-й выпуск ВЕСТНИКА ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК. ОТДЕЛЕНИЕ МЕТАЛЛУРГИИ включает результаты научных исследований в области металлургии, металловедения, физики металлов, экономики, экологии и проблем высшего профессионального образования.

В состав авторских коллективов, помимо исследователей ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет» (г. Новокузнецк), вошли сотрудники крупных стальпроизводящих предприятий ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат», ОАО «Новокузнецкий Металлургический Комбинат», ученые ВНИИЖТ. Исследования авторских коллективов направлены на разработку и совершенствование перспективных технологий подготовки железорудного сырья, выплавки и термической обработки стали, эксплуатации плазменных реакторов для нанотехнологий, переработки отходов металлургического производства.

Значительная часть сборника научных трудов посвящена новым направлениям в сфере высшего профессионального образования. Подробно рассмотрен опыт Сибирского государственного индустриального университета по разработке, внедрению и поддержанию системы менеджмента качества образовательной деятельности. Представлены результаты использования перспективных современных образовательных методик и технологий, используемых при подготовке квалифицированных инженеров в области металлургии, городского строительства и хозяйства.

Редакционная коллегия выражает признание авторам статей за сотрудничество и заранее благодарна за отзывы по данному изданию.

**МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И
СПЛАВОВ**

В.В. Руднева

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

ИССЛЕДОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПЛАЗМЕННОГО РЕАКТОРА ДЛЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ.

СООБЩЕНИЕ 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ

Рассмотрены особенности аппаратного оформления плазменных процессов для получения наноматериалов, основные аппаратные схемы реакторов, плазменные реакторные устройства на основе многоструйной камеры смешения, закономерности формирования в них плазменного потока и особенности его теплообмена со стенками реактора и дисперсным материалом. Определены направления совершенствования газодинамических и теплотехнических характеристик трехструйного прямоточного плазменного реактора.

Peculiarities of hardware implementation of plasmic processes for nanomaterials making, basic hardware schemes of reactors, plasmic reactor devices, based on multi-jet blending chamber, regularity of forming plasmic stream into them and peculiarities of heat exchange of this stream with reactor sides and dispersed material are considered. Directions of perfection of gas-dynamic and heat engineering characteristics of three-jet direct-flow plasmic reactor are determined.

Многоструйные плазменные реакторы представляют собой совмещенные реакторы смешения и вытеснения и находят широкое применение в металлургии для переработки отходов производства и получения наноразмерных порошковых материалов. Однако необходимость интенсивного охлаждения стенок таких реакторов приводит к отклонению их характеристик от характеристик однотипных идеальных реакторов, что затрудняет решение чисто инженерных вопросов аппаратного оформления процессов. В связи с этим возникает необходимость экспериментального исследования характеристик реакторов подобного типа.

Цель настоящей работы – обобщение результатов исследований и опыта эксплуатации многоструйных (многодуговых) реакторов и выработка рекомендаций по совершенствованию их конструкций, улучшению газодинамических и теплотехнических характеристик, расширению технологических возможностей.

Аналитическое обобщение результатов исследований и опыта эксплуатации многоструйных плазменных реакторов

Основные аппаратные схемы реакторов для плазменного синтеза

При разработке струйно-плазменных процессов получения наноразмерных порошков тугоплавких соединений большое значение наряду с выбором оптимальных технологических параметров имеют инженерные вопросы их аппаратного оформления. При этом проектируемые аппараты должны обеспечивать:

- ввод всей массы сырья в наиболее нагретую зону струи (потока) и полную его переработку;
- стабильность условий в реакционной зоне, а также исключать при необходимости возможность окисления высокодисперсных продуктов при разгерметизации системы улавливания.

Однако в условиях эксплуатации аппаратов выполнение этих требований осложняется такими факторами, как широкий гранулометрический состав сырья, использование металлических реакторов с водоохлаждаемыми стенками, в которых термофорез и прямой контакт запыленной струи со стенками приводит к образованию на них плотного слоя осадка, уменьшающего проходное сечение реактора, зачастую неконтролируемому взаимодействию высокодисперсных синтезируемых материалов с атмосферой и т.д.

Комплекс перечисленных проблем и естественное стремление сохранить компактность плазменного оборудования обусловили разработку целого ряда конструкций плазменных реакторов, обзор которых приведен, в частности, в [1]. Так, для различных технологических вариантов струйных процессов опробованы следующие конструкции реакторов:

- реактор с параллельными струями, в котором несколько плазмотронов расположены в одной плоскости, что обеспечивает эффективную переработку полидисперсного сырья;
- реактор с соосно пристыкованным к нему плазмотроном, в том числе и со встречной подачей сырья;
- реактор с кипящим слоем, в котором сырье поступает в высокотемпературную зону струи из окружающего ее кипящего слоя;
- многодуговой реактор, в котором несколько плазменных струй подаются в поток исходного сырья, что обеспечивает возможность создания на его основе агрегатов большой мощности.

Для эксплуатации реакторов различного типа организовано производство необходимого электротехнического и технологического оборуду-

дования. В частности, для реакторов с одним электродуговым плазмотроном постоянного тока, который работает на азоте, воздухе и инертных газах, Всероссийский научно-исследовательский институт электротермического оборудования (ВНИИЭТО) разработал комплект многоцелевого оборудования для производства высокодисперсных порошков неорганических материалов. В комплект входят: источник электропитания, порошковый и жидкостный питатели, система сепарации целевого продукта, поглотитель для очистки отходящих газов, система контрольно-измерительных приборов и автоматики. Производительность плазмотрона мощностью 50 кВт составляет 1-10 кг сырья в час. Конструкция технологического оборудования предусматривает возможность реализации процессов с газообразными восстановителями.

Многодуговой реактор может эксплуатироваться в комплексе с оборудованием, разработанным и поставляемым Институтом теплофизики (ИТ) Сибирского отделения РАН. Для генерации плазмы использованы три радиально расположенных в камере смешения электродуговых плазмотрона постоянного тока мощностью 20 кВт каждый. В комплект оборудования входят также источник электропитания, дозатор сырья, закалочный узел, шлакосборник, высокотемпературный фильтр с автоматической разгрузкой, пульт управления. Мощность плазменного нагревательного устройства 60 кВт, что обеспечивает производительность реактора по переработке порошкообразного сырья 1-5 кг/ч. В качестве теплоносителей могут быть использованы окислительные, восстановительные и нейтральные газы с общим их расходом 3-5 кг/ч.

Таким образом, рассмотренные выше типы реакторов для струйно-плазменных процессов могут работать в технологической цепи аппаратов, ставших уже традиционными в нанотехнологии. Однако остается нерешенным один из главных вопросов - разработка научных основ плазменного реакторостроения, в связи с чем выбор реактора при проектировании и разработке новых процессов осуществляется в основном эмпирическим путем.

Вопросы проектирования реакторов для гетерогенных процессов частично рассмотрены и обобщены в [1], но еще далеки от окончательного решения. Тем не менее, даже при отсутствии единого подхода к выбору реакторов для гетерогенных процессов можно утверждать, что многодуговые (многоструйные) реакторы обладают широкими технологическими возможностями. Положительный, почти 20-летний опыт эксплуатации этих реакторов при разработке и освоении технологии производства наноматериалов накоплен в Институте теплофизики (ИТ) СО РАН, Институте тепломассообмена (ИТМО) имени А.В. Лыкова АН Республики Беларусь, Сибирском государственном индустриальном университете и в его Центре нанотехнологий. Достижимый уровень

электрической мощности (до 150-300 кВт) и производительности (от 0,3-0,5 т в год порошков тугоплавких соединений до 80 т высокодисперсных оксидных катализаторов) свидетельствует о том, что эти реакторы прочно утвердились в нанотехнологии. Поэтому было бы целесообразно рассмотреть их конструктивные особенности и технологические варианты.

Плазменные реакторные устройства на основе многоструйной камеры смешения

Плазменные нагревательные устройства на основе многоструйной камеры смешения с несколькими работающими плазмотронами в настоящее время широко распространены в качестве основного узла конструкции плазменных реакторов. При этом количество плазмотронов, работающих на одну камеру смешения, может быть различным и определяется особенностями технологического процесса, свойствами перерабатываемого сырья и мощностью плазменного оборудования. Особенности конструкций плазмотронов, работающих на один канал, схемы их электроснабжения и поджига, а также технологические варианты плазменных реакторных устройств подробно рассмотрены в [1]. Так, в частности, отмечается повышенное внимание исследователей и инженеров-технологов к многоструйным реакторам проточного типа, схемы которых приведены на рисунке 1. В подобных реакторах уже на расстоянии двух калибров от входа в реактор температурное поле результирующего потока обладает высокой степенью равномерности, что, наряду с простотой конструкции, является основным достоинством рассматриваемой схемы. В то же время наличие в генерируемом газовом потоке в пристеночной зоне существенного радиального градиента температуры снижает технологические возможности подобных реакторов. Хотя эти недостатки устранены в противоточных реакторах с комбинированным двухступенчатым нагревом, в литературе отсутствуют сведения об использовании последних в лабораторных или опытных установках. Отсутствуют также данные о возможности улучшения теплотехнических характеристик проточных реакторов, например, при использовании тепловой защиты.

Многоструйные проточные реакторы выполняются с различным углом наклона плазмотронов к оси реактора – от 15 до 90 ° при радиальном вводе плазменных струй, при этом существенно изменяются гидродинамические и теплотехнические характеристики реакторов. Поэтому анализ взаимосвязи угла наклона плазменных струй с характеристиками реактора, включающий систематизацию имеющихся в литературе по этому вопросу сведений, является, по-видимому, обязательным

при разработке рекомендаций по проектированию реакторов подобного типа. В связи с этим ниже приводятся основные сведения о гидродинамических и теплотехнических характеристиках многоструйных реакторов.

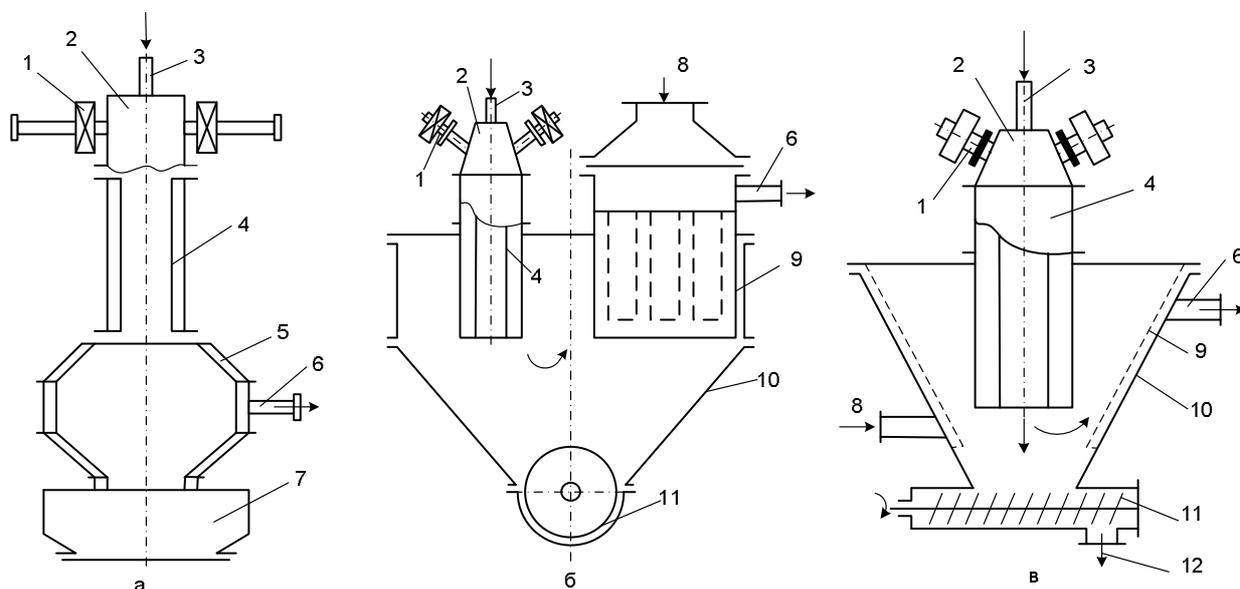


Рисунок 1 – Технологические плазменные реакторные устройства прямоточной схемы для обработки дисперсных материалов:

а – с цилиндрической камерой смешения;

б, в – с конической камерой смешения;

1 – плазмотрон; 2 – камера смешения; 3 – фурма для ввода дисперсного материала; 4 – реактор; 5 – камера разделения; 6 – выход газов; 7 – бункер для шлака; 8 – газ для продувки фильтра; 9 – фильтр; 10 – бункер для продукта; 11 – шнек; 12 – выход продукта

Закономерности формирования плазменного потока в многоструйном реакторе

Результаты исследования гидродинамики плазменных потоков в трехструйных реакторах обобщены в [1]. Так, гидродинамика потоков изучалась на холодной модели реактора, представляющей собой цилиндрическую камеру с внутренним диаметром 0,08 м, в которую под углом 30° и 45° к ее оси через крышку вводили три воздушные струи под углом 120° друг к другу. Число Рейнольдса потока соответствовало числу Рейнольдса переходного течения от ламинарного к турбулентному. Установлено, что уже на удалении 0,33 калибра от крышки реактора осевая скорость описывается законами распространения свободных струй. При этом максимум скорости смещен в приосевую зону, что обусловлено, по мнению авторов, асимметрией соударения струй и особенностями развития турбулентности в зоне их соударения. В приосевой

зоне выше точки соударения струй под углом наклона их к оси реактора существует область восходящего потока, исчезающая при уменьшении угла наклона струй до 30° . Отмечается также развитие в пристеночной области циркуляционной зоны, увеличение интенсивности турбулентности в направлении от оси к стенке камеры при слабой зависимости от расхода газа-теплоносителя и угла его ввода и возможность формирования закрученного течения. Результаты исследования на холодной модели в целом подтверждаются измерениями скорости и температуры незапыленного плазменного потока, образованного тремя струями.

Также исследовались полный и статический напоры, температура в различных зонах трехструйного реактора с углом ввода плазменных струй 45° . На рисунках 2 и 3 результаты исследования полей скоростей в различных сечениях реактора, а также изменение динамических напоров, статических давлений и температур как по сечению, так и по длине реакционного канала показывают, что в начальных сечениях исследованного реактора имеются значительные зоны обратных потоков и рециркуляционные области, которые обусловлены неизобаричностью и неизотермичностью высокотемпературного потока. Наличие больших градиентов температур и скоростей в обеих плоскостях высокотемпературного потока приводит к интенсивному тепло- и массопереносу, в результате которого поперечный размер потока быстро увеличивается в направлении движения, а профиль гидродинамических параметров принимает более плавный вид. Уже на удалении 1,5 калибра от начала реактора распределение по сечению температур и полных давлений имеет вид, характерный для потоков, движущихся в цилиндрических каналах. С уменьшением внутреннего диаметра канала реактора до 0,03-0,05 м можно ожидать равномерного радиального распределения температуры и скорости даже на длине реактора, меньшей 1 калибра.

Исследовалось распределение температуры и скорости газа в трехструйном водоохлаждаемом металлическом реакторе с внутренним диаметром 0,4 м в зависимости от углов наклона плазменных струй в 15° , 30° , 60° . Установлено, что при одинаковых начальных условиях истечения скорость и энтальпия на оси газового потока выше при угле наклона 15° , что, по предположению авторов, связано с уменьшением радиальной составляющей скорости потока при снижении угла наклона. Отмечается также большая наполненность радиальных профилей температуры и скорости в газовом потоке при угле наклона 60° , обусловленная интенсификацией радиального перемешивания в газовом потоке при возрастании угла наклона.

Исследовалось температурное поле реактора с углом наклона плазмотронов 90° на удалении двух калибров от начала реактора в интервале чисел Рейнольдса потока 450-600. Отмечается отсутствие радиально-

го градиента температуры в центральной части реактора и наличие значительной пристеночной низкотемпературной зоны.

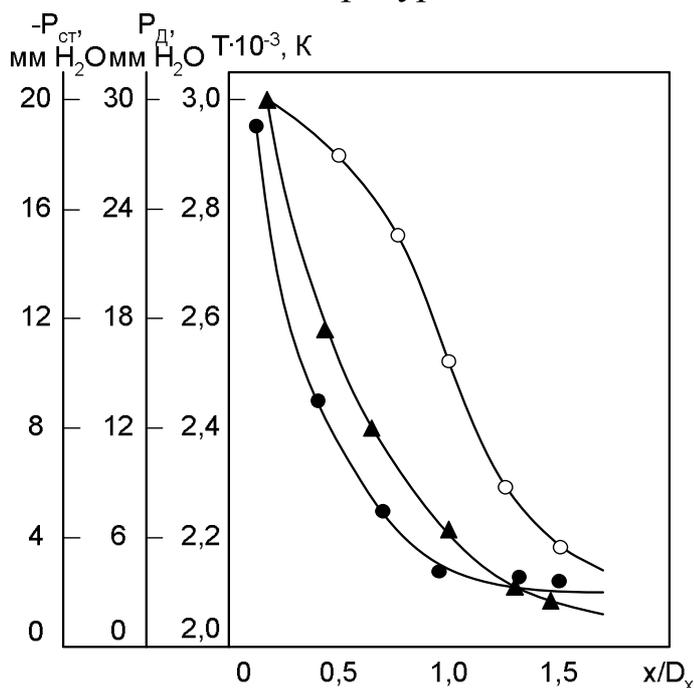


Рисунок 2 – Изменение температуры (\circ), статического (\bullet) и полного давления (\blacktriangle) вдоль оси реактора (D – диаметр реактора, м; x – расстояние по оси от входа в реактор, м)

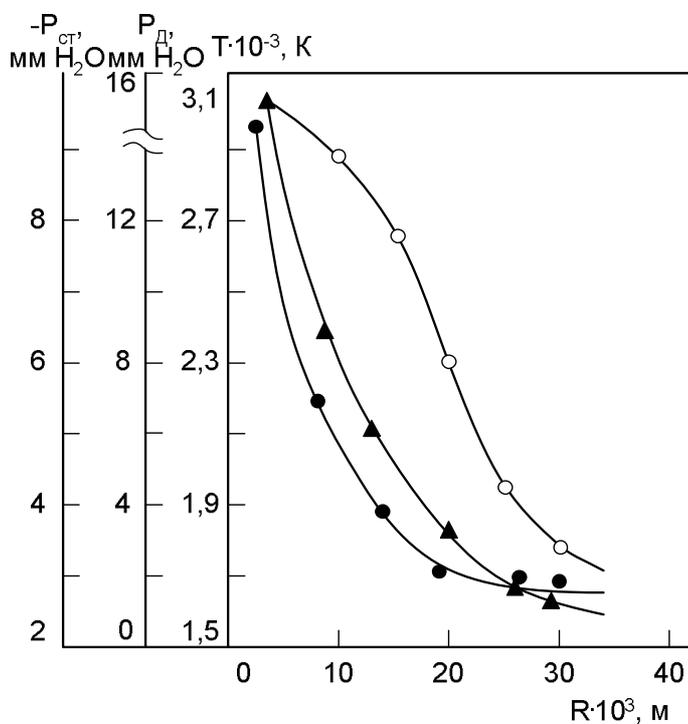


Рисунок 3 – Поля динамического напора (\circ), температуры (\bullet), статического давления (\blacktriangle) в поперечном сечении реактора при $x/D_x = 0,8$ (R – радиус канала реактора, м)

Анализируя приведенные в [1] данные, можно сделать вывод о влиянии конструктивных параметров многоструйных реакторов на условия формирования в них плазменных потоков и обсудить связанные с ними некоторые особенности эксплуатации таких реакторов. При этом необходимо отметить следующее:

1. Все описанные в литературе реакторы рассматриваемого типа выполнены в трехструйном варианте с равномерным расположением плазмотронов по окружности. Этот вариант оптимальный, в полной мере учитывающий ограничения, вносимые габаритами плазмотронов.

2. Основное различие конструкций трехструйных реакторов связано с углом наклона плазменных струй к оси реактора в 15, 30, 45, 60, 90°, причем первыми были разработаны реакторы с углом наклона 90°, т.е. с радиальным вводом плазменных струй.

3. В ходе многолетней эксплуатации реакторов с углом наклона 90° не только подтверждено главное их достоинство – обеспечение интенсивного тепло- и массообмена по всему объему камеры смешения, способствующее высокой степени равномерности температурного поля результирующего потока уже на расстоянии в два калибра, но и выявлен ряд существенных недостатков, а именно:

- формирование восходящего потока газа, который приводит к образованию в камере смешения в зоне соударения плазменных струй свода из спеченного исходного сырья, который перекрывает поперечное сечение камеры и значительно ограничивает продолжительность непрерывной работы, что приводит к возрастанию потерь сырья; наряду с этим наличие в реакторе восходящего газового потока делает практически невозможной эффективную обработку высокодисперсного сырья с частицами субмикронных размеров и легкоплавкого сырья, например, оксидов бора, ванадия;
- ограниченный (350-400 ч) ресурс работы выполненных из нержавеющей стали (обычно X18H10T) камер смешения из-за эрозии их у среза сопел плазмотронов; замена нержавеющей стали медью решает проблему повышения стойкости камер, но приводит к возрастанию в них тепловых потерь почти на 40-50%.

4. Прослеживается ослабление восходящего потока и снижение интенсивности выравнивания профилей температур и скоростей при уменьшении угла наклона плазменных струй до 30 и 15°.

5. При резком расширении потока, входящего в реактор, наблюдается образование вокруг составной струи зоны рециркуляции, наличие которой может привести к возврату частиц высокодисперсного продукта в зону испарения сырья и конденсации паров и оказывать влияние на формирование дисперсного состава целевого продукта.

Таким образом, проведенный анализ позволяет представить формирование потока (или результирующей струи) в канале трехструйного реактора в виде следующей схемы (рисунок 4) при оптимальном сочетании параметров в области углов наклона струй 30-45°. Следует отметить предварительный на данном этапе характер оценки значений угла наклона, поскольку не рассмотрено влияние его на теплообмен в реакторе.

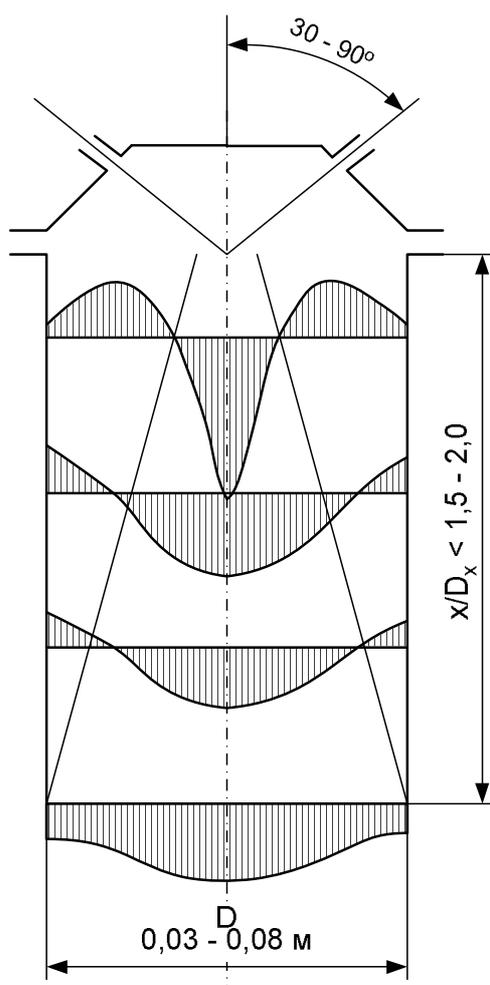


Рисунок 4 – Профили скоростей в трехструйном реакторе

Особенности теплообмена в каналах прямоочных трехструйных плазменных реакторов

Теплообмен в каналах трехструйных реакторов может рассматриваться как взаимодействие элементов системы плазма – дисперсный материал – стенки реактора, подразделяемое обычно на теплообмен плаз-

менных потоков со стенками реактора и теплообмен частиц дисперсного материала с потоками плазмы.

Результаты исследования теплообмена высокотемпературных газовых потоков с охлаждаемыми стенками цилиндрических каналов при ламинарных режимах течения обобщены в [1]. Установлено, что теплообмен в каналах плазменных реакторов характеризуется следующими особенностями, не имеющими места или существенного значения при течении в трубах слабо нагретых газовых потоков:

1. Теплообмен происходит при одновременном формировании теплового и гидродинамического пограничных слоев, в связи с чем закономерности теплообмена на начальном участке в значительной мере отличаются от закономерностей теплообмена для установившегося стабилизированного течения.

2. Теплообмен происходит в условиях существенного изменения теплофизических и термодинамических свойств плазменного потока по сечению реактора, обычно при изменении (для азота) среднemasсовой температуры газа (6000-2000 К) и температуры стенки (500-300 К), т.е. при значениях температурного фактора 7-12.

3. При температуре выше 4000 К для азота и воздуха теплообмен протекает в условиях значительного изменения теплофизических свойств газов, обусловленного их частичной диссоциацией: различие для значений теплоемкости и теплопроводности недиссоциированного ("замороженного") и равновесно диссоциированного состояний может превышать 100-300 %. Однако в условиях интенсивного охлаждения потока степень отклонения от равновесного состояния практически неопределима из-за экспериментальных трудностей.

4. Теплообмен на участке канала длиной менее 6-8 калибров характеризуется повышенной интенсивностью при турбулентных режимах течения, что обусловлено вихревой закруткой истекающего из плазмотронов газа, вызванной тангенциальным вводом его в разрядные камеры и турбулизацией газа вращающимися электрическими дугами. Отмечается также возрастание интенсивности теплообмена при увеличении угла наклона плазменных струй к оси реактора от 0 до 90°; соотношение чисел Нуссельта составляет при этом 1 (0°), 2 (45°), 3,3 (60°), 4,4 (90°).

5. Известные расчетные зависимости для теплообмена при течении высокотемпературных газовых потоков в цилиндрических каналах приведены в таблице 1. Из анализа зависимостей следует, что единой методики расчета теплообмена нет. Для оценки теплообмена в нефутерованном канале реактора целесообразно использовать уравнение вида

$$St = 0,44 Re_{f,x}^{-0,53} Pr_{f,x}^{-0,67} . \quad (1)$$

6. Интенсивность теплообмена может быть снижена либо футеровкой канала реактора (расчетные зависимости для подобного случая отсутствуют), либо введением в поток дисперсного материала. В этом случае снижение теплового потока в стенку происходит из-за передачи теплоты от плазмы к дисперсному материалу, что уменьшает температуру плазменного потока и температурный напор между плазмой и стенками реактора. Снижение теплового потока учитывается введением в расчетную зависимость для чисел Стантона поправочного коэффициента,

Таблица 1 – Расчетные зависимости для теплообмена при течении плазменных потоков в цилиндрических каналах трехструйных реакторов*

Газ, источник информации	Состояние газа при высоких температурах	Число Рейнольдса	Диаметр канала, м	Угол наклона плазменных струй	Зависимость
Воздух	Недиссоциированный	600-1200	0,02	0°	$St = 0,44 Re_{f,x}^{-0,53} Pr_{f,x}^{-0,67}$
Азот	Равновесно диссоциированный	700-2300	0,026 0,036 0,046	90°	$Nu = 0,102(Re_{D,O} Pr_O)^{0,50} \times (x/D_x)^{-0,56} (T_w/T_f)^{2,5}$
Воздух	То же	1350-1800	0,05	70°	$St = 2,945 Re_{x_1}^{-0,669} Pr_1^{-0,67}$ $St = 0,608 Re_{x_1}^{-0,5} Pr_1^{-0,67} \times (x/D_x)^{-0,238}$
Воздух	То же	450-935	0,10	70°	$St = 1,703 Re_{x_1}^{-0,665} Pr_1^{-0,67}$ $St = 0,607 Re_{x_1}^{-0,5} Pr_1^{-0,67} \times (x/D_x)^{-0,142}$
Аргон	Недиссоциированный	450-600	0,02	90°	$St = 0,364 Re_{x_1}^{-0,5} Pr_1^{-0,67}$, $x/D_x \geq 2$

* St, Nu, Re, Pr – числа Стантона, Нуссельта, Рейнольдса и Прандтля;

D – диаметр канала реактора, м;

T – температура, К;

x – условия, соответствующие осевой координате, w – стенке; 0 – осевой координате $x = 0$; f – свойства определены по среднemasсовой температуре;

1 – по среднemasсовой температуре во входном сечении реактора.

определяемого в диапазоне расходных массовых концентраций дисперсного материала 0,15-0,2 как

$$\varepsilon_{\mu} = 0,76 \left(\frac{G_p}{G_t + G_g} \right)^{-0,128}, \quad (2)$$

где G_g , G_t , G_p - массовый расход плазмообразующего и транспортирующего газа, дисперсного материала соответственно, кг/с.

Эффективность межкомпонентного теплообмена и характер зависимости для его расчета обусловлены концентрацией частиц в потоке, их формой, шероховатостью поверхности, относительной скоростью, наличием температурных градиентов в пограничном слое на частице, режимом течения потока. В [1] для расчета межкомпонентного теплообмена частиц, движущихся в плазменных потоках, предложена следующая критериальная зависимость:

$$Nu = 2 \frac{\lambda_s}{\lambda_g} + 0,78 Re_p^{0,5} Pr^{0,33} \left(\frac{\rho_g \mu_g}{\rho_s \mu_s} \right)^{0,2} \varepsilon_{\beta} \quad (3)$$

где ρ – плотность, кг/м³;

μ – динамическая вязкость, Н·с/м²;

λ – теплопроводность, Вт/(м·К);

s – условия, соответствующие температуре поверхности сферы; g - плазмообразующий газ; p – дисперсный материал;

ε_{β} - поправочный коэффициент.

Поправочный коэффициент ε_{β} определяется как

$$\varepsilon_{\beta} = 7,82 \cdot 10^{-8} \beta^{-2,1}. \quad (4)$$

Средняя объемная концентрация дисперсного материала на расчетном участке реактора Δx_i может быть определена как

$$\beta = \left(\sum_0^{x_i} \beta_i \Delta x_i \right) / \sum_0^{x_i} \Delta x_i, \quad (5)$$

Обсуждение и анализ отмеченных выше особенностей теплообмена одно- и двухкомпонентного плазменных потоков со стенками реактора и межкомпонентного теплообмена свидетельствуют не только о сложности вопроса, но и позволяют выделить ряд интересных в научном и прикладном плане задач, для комплексного решения которых требуется накопление экспериментальной и теоретической информации. К таким

задачам относится, например, получение зависимости для расчета теплообмена одно- и двухкомпонентных потоков со стенками реакторов в случае тепловой защиты стенок различными футеровками. Требуется также дальнейшей проработки вопрос о влиянии на теплообмен со стенками канала двухкомпонентного потока газа, состава и дисперсности твердой фазы. Методологически не полностью решен вопрос об обработке экспериментальных данных о теплообмене в области температур выше 4000 К при использовании в качестве газа-теплоносителя азота или воздуха.

Наряду с этим анализ литературных данных о высокотемпературном теплообмене в плазменно-технологических аппаратах позволяет выбрать оптимальную в теплотехническом отношении конструкцию реактора: таковой следует признать конструкцию с минимальным углом наклона – 30 или 45°.

Выводы и постановка задачи

Обзор сведений об аппаратурном оформлении плазменных процессов и выборе газа свидетельствует о многообразии конструкций реакторов, что обусловлено неоднотипностью задач нанотехнологии, решаемых с использованием плазменного нагрева. Выбор газа также определяется характером решаемых задач, но во всех случаях предпочтение отдается молекулярным газам – азоту и водороду, обладающим высокими теплофизическими характеристиками, или их смесям с инертными газами. При этом тип реактора определяется не только физико-химическими характеристиками сырья, но также и необходимым уровнем мощности. По потребляемой мощности и, следовательно, по производительности при переработке дисперсного сырья одно из ведущих мест занимают многоструйные прямоточные реакторы, вышедшие на полупромышленный и промышленный уровни.

Анализ данных о работе реакторов подобного типа, особенностях их эксплуатации, гидродинамических и теплотехнических характеристиках позволяет сделать следующие выводы об оптимальном сочетании конструктивных элементов, теплотехнических и технологических возможностях, определить задачи, требующие первоочередного решения на пути совершенствования реакторов и разработки основ их расчета и проектирования:

1. Оптимальным следует считать трехструйный реактор с равномерным расположением плазмотронов по окружности с углом наклона плазменных струй к оси реактора 30-45° и тепловой защитой интенсивно охлаждаемых стенок, обеспечивающий максимальный ресурс работы камеры смешения, высокую равномерность радиального распределения

температуры и скорости при минимальных потерях сырья и тепловой энергии.

2. Для улучшения характеристик реакторов такого типа необходимо изучить особенности теплообмена в нем и способы тепловой защиты стенок.

В связи с этим первоочередными задачами являются:

- исследование теплотехнических характеристик трехструйного прямоточного реактора с углом ввода плазменных струй 30° при различных вариантах теплоизоляции стенок;
- исследование теплообмена в теплоизолированном канале реактора и получение зависимостей для расчета и проектирования.

3. Для прогнозирования параметров эффективной переработки дисперсного сырья в реакторах подобного типа необходима разработка математической модели межкомпонентного теплообмена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидродинамические и теплотехнические характеристики трехструйного прямоточного реактора для высокотемпературного синтеза тонкодисперсных материалов / Г.В. Галевский, М.Ф. Жуков, А.А. Корнилов и др. / Препринт № 226 – 90 - Новосибирск: ИТФ СО АН СССР, 1990. – 40 с.

УДК 536.45:533.9

В.В. Руднева

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

ИССЛЕДОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПЛАЗМЕННОГО РЕАКТОРА ДЛЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ СООБЩЕНИЕ 2. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРЕХСТРУЙНОГО ПЛАЗМЕННОГО РЕАКТОРА

Определены и реализованы направления совершенствования газодинамических и теплотехнических характеристик трехструйного прямогоплазменного реактора.

Directions of perfection of gas-dynamic and heat engineering characteristics of three-jet direct-flow plasmonic reactor are determined and realized.

Цель настоящей работы – реализация направлений совершенствования конструкций многоструйных (многодуговых) плазменных реакторов, улучшение их газодинамических и теплотехнических характеристик, реализация их технологических возможностей.

Совершенствование трехструйного плазменного реактора

Описание реактора и вспомогательного оборудования

Объект исследования – трехструйный прямооточный реактор – представлен на рисунке 1.

Для генерации плазменного потока используют три электродуговых подогревателя (плазмотрона) ЭДП-104А мощностью до 50 кВт каждый, которые устанавливаются в камере смешения под углом 30° к оси реактора. Камера смешения соединена с секционированным водоохлаждаемым цилиндрическим каналом, имеющим внутренний диаметр 0,046 м. В комплекс оборудования, обеспечивающего работу реактора, входят системы электро-, газо- и водоснабжения, контрольно-измерительных приборов, автоматики, контроля состава плазмообразующего и отходящего из реактора газов, дозирования шихтовых материалов и улавливания продуктов.

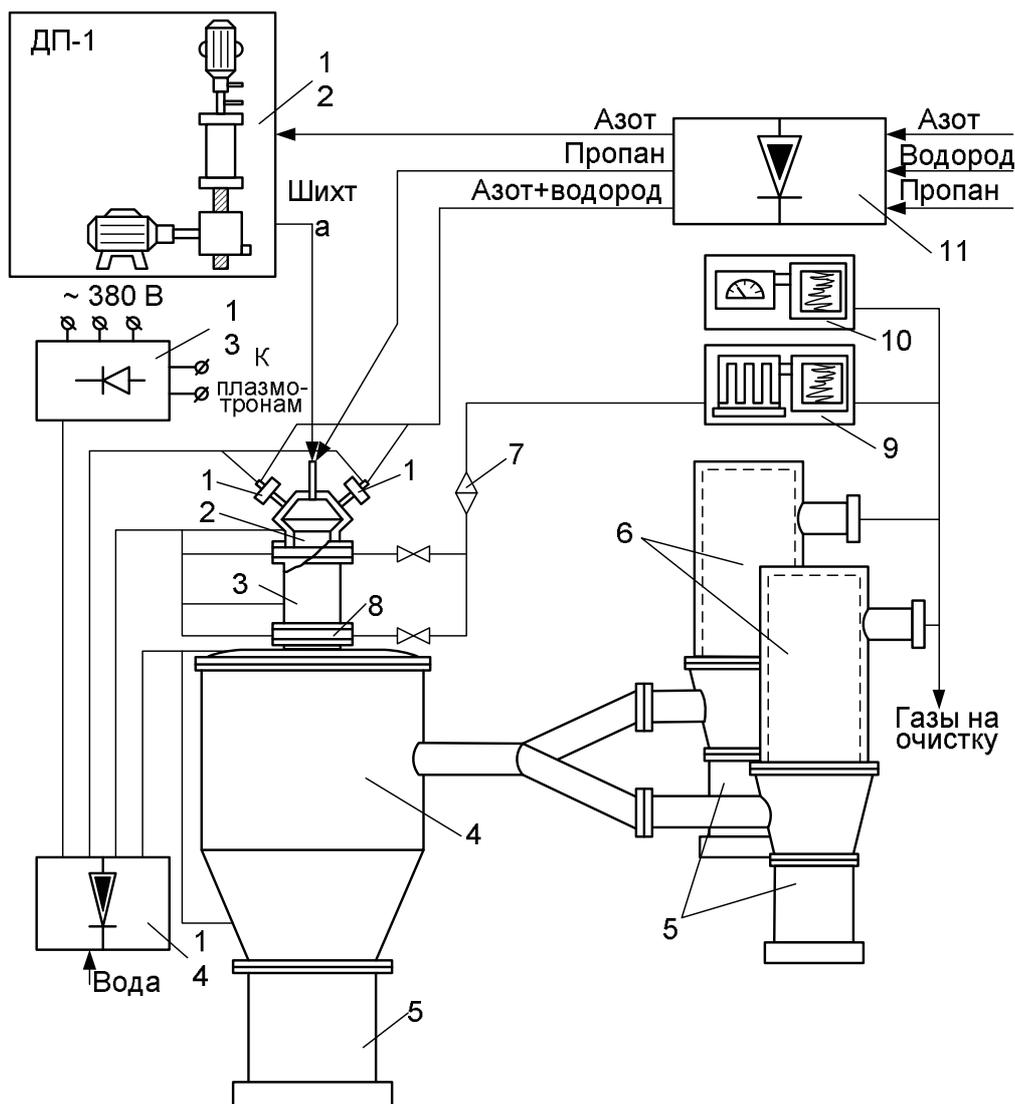


Рисунок 1 – Схема трехструйного прямоточного реактора: 1 – плазмотроны ЭДП-104А; 2 – камера смешения; 3 – секция реактора; 4 – осадительная камера; 5 – бункеры-накопители; 6 – рукавные фильтры; 7 – фильтр тонкой очистки; 8 – зонды для отбора проб; 9 – хроматограф ЛХМ-8МД («ЦВЕТ-101»); 10 – газоанализатор «ЦИРКОН-М»; 11 – система газоснабжения; 12 – порошковый дозатор; 13 – блок питания плазмотронов; 14 – система водоснабжения

Исследование энергетического баланса реактора

Данные исследований представлены в таблице 1, здесь же приведены некоторые ранее полученные результаты исследования энергетического баланса реактора с углом ввода плазменных струй 90° , обработанные с учетом того, что в камере смешения такой конструкции практически весь тепловой поток (96-97 %) от плазмы к стенкам воспринимается нижней (~ 1 калибр) частью камеры. Можно видеть, что с уменьшением угла наклона с 90 до 30° плотность теплового потока в

камере смешения снижается почти в 3 раза, что в целом положительно сказывается на ресурсе ее работы. Однако наряду с этим в обоих случаях на начальном участке длиной 4-5 калибров тепловой поток к стенкам характеризуется высокой плотностью, что в значительной мере снижает возможности реактора по нагреву и испарению дисперсного сырья. Снижение тепловых потерь в реакторе может быть достигнуто при футеровке его канала теплоизоляционным материалом.

Таблица 1 – Энергетический баланс реактора (мощность $P = 80,8$ кВт, расход азота $G = 4,64 \cdot 10^{-3}$ кг/с)

Конструкционные узлы	Расход теплоты, q		
	общий		удельный 10^{-5} , Вт/м ²
	10^{-3} , Вт	%	
Плазмотроны:			
катоды	2,06	2,55	–
аноды	31,5	39,16	–
Реактор ($\bar{L} = 14$):			
Камера смешения	8,18	10,24 (25,1)*	12,39 (33,59)
Секции: 1 – $\bar{L} = 1$	7,46	9,25 (8,25)	11,30 (4,65)
2 – $\bar{L} = 1$	3,65	4,53 (6,8)	5,33 (2,05)
3 – $\bar{L} = 2$	5,67	7,03	4,29
4 – $\bar{L} = 2$	2,32	2,88	1,75
5 – $\bar{L} = 2$	1,67	2,17	1,44
6 – $\bar{L} = 3$	2,07	2,56	1,29
7 – $\bar{L} = 3$	1,71	2,12	0,89
Осадительная камера	4,6	5,72	0,4
Отходящие газы	9,51	11,79	–
Всего:	80,4	100	–

* В скобках данные для реактора с углом ввода плазменных струй 90°

Оценка эффективности тепловой защиты реактора при различных вариантах футеровки его канала

Теплоизолирующие футеровки по способу устройства подразделяются на искусственные, чаще всего многослойные, выполняемые из огнеупорных и теплоизоляционных материалов, и естественные, или гарниссажные, «намораживаемые» при кристаллизации расплава на внутренних поверхностях интенсивно охлаждаемых стенок и кожухов. Применение гарниссажных футеровок в условиях растущего дефицита

огнеупоров высокого качества экономически и технологически более целесообразно.

Варианты искусственных футеровок приведены на рисунке 2. Для данных случаев теплоизоляции исследовали распределение теплового потока и температуры внутренней поверхности канала реактора. Результаты расчета теплового потока представлены на рисунке 3, из которого видно, что наибольшие тепловые потери для обоих энергетических режимов имеют место для варианта *а*, а наименьшие – для варианта *в*, причем максимальное снижение теплового потока соответствует большей энтальпии азота. Варианту *в* соответствует и самая высокая температура внутренней поверхности канала реактора (рисунок 4).

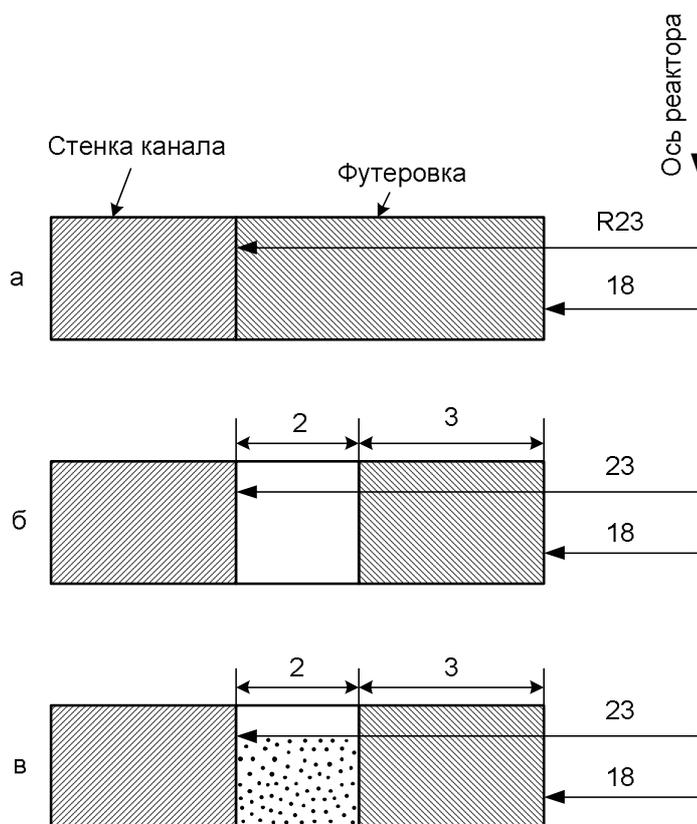


Рисунок 2 – Типы футеровок: *а* – графит; *б* – графитовый экран; *в* – графитовый экран с асбестовой изоляцией

Таким образом, применение футеровок с теплоизолирующими слоями или экранами обеспечивает снижение плотности теплового потока и повышение температуры внутренней поверхности стенки, способствуя тем самым максимальному приближению характеристик реактора к характеристикам соответствующего идеального реактора. Учитывая высокую теплопроводность графитовых экранов, можно предположить, что использование в качестве футеровки материалов с меньшей по сравнению с графитом теплопроводностью приведет к повышению температуры внутренней поверхности футерованного канала. Действительно, замена графита корундом при начальной энтальпии потока

$5,55 \cdot 10^3$ кДж/кг обеспечивает снижение теплового потока в стенку и повышение ее температуры в среднем на 10-20 % (рисунки 3, 4).

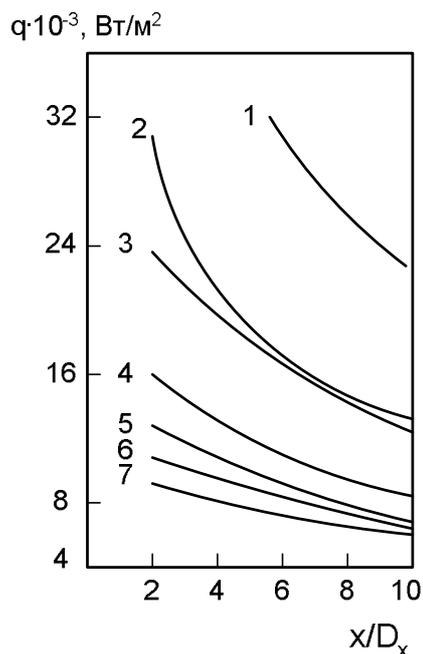


Рисунок 3 – Продольное распределение теплового потока в футерованном реакторе:

1, 2, 3 – энтальпия $H = 9,26 \cdot 10^3$ кДж/кг; 4, 5, 6, 7 – энтальпия $H = 5,55 \cdot 10^3$ кДж/кг; а – 1,4; б – 2,5; в – 3,6; б – с корундовым экраном – 7 (см. рисунок 2); 5, 6 – эксперимент

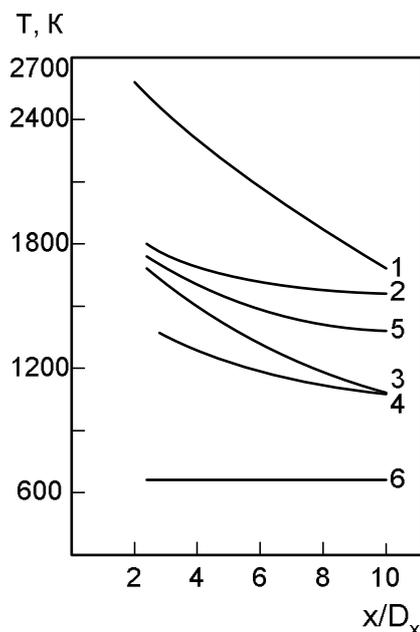


Рисунок 4 – Продольное распределение температуры внутренней поверхности футеровки: 1, 2, 6 – энтальпия $H = 9,26 \cdot 10^3$ кДж/кг; 3, 4, 5, 6 – энтальпия $H = 5,55 \cdot 10^3$ кДж/кг; а – 6; б – 2,4; в – 1,3; б – с корундовым экраном – 5 (см. рисунок 2)

Однако искусственные футеровки для плазменных реакторов характеризуются сложностью изготовления, особенно при использовании материалов на основе плавленных оксидов, и, как показал опыт эксплуатации, недостаточной стойкостью.

Особенно быстро искусственные футеровки разрушаются на начальном участке канала реактора на длине в несколько калибров, т.е. в той зоне, где тепловые потоки в стенку реактора наибольшие.

Исследовалась возможность получения гарниссажной футеровки на основе оксидов хрома, ванадия, титана, циркония, кремния, применяемых в качестве сырья в процессах восстановительного синтеза соответствующих боридов и карбидов.

Отличительной особенностью плазменных восстановительных процессов по сравнению с процессами, аппараты для проведения которых имеют гарниссажную футеровку, является возможность управления в широких пределах фазовым составом гарниссажа с изменением его в зависимости от технологических параметров синтеза от исходного оксида до целевого продукта (обычно карбида или борида). Однако сопоставление теплофизических свойств веществ, которые могут входить в состав гарниссажа, показывает, что более целесообразно формирование гарниссажа из оксидов.

Наблюдаемое в реакторе с углом наклона плазмотронов 90° образование свода подтверждает отмеченные выше негативные особенности гидродинамики реакторов подобной конструкции, предопределяющие необходимость отказа от них уже на полупромышленном уровне. Продольное распределение скорости нарастания гарниссажа, температуры стенки нефутерованного реактора и температуры внутренней поверхности гарниссажных слоев приведено на рисунке 5. Завершенность процессов гарниссажеобразования зависит от их минимальной скорости, соответствующей длине реактора в 7-8 калибров. Можно отметить, что во всех случаях гарниссажные футеровки обеспечивают повышение температуры стенки, причем максимальное – в 2-2,5 раза – достигается при использовании оксида циркония и мощности дугового разряда 80,8 кВт. При этих условиях температура стенки изменяется от 2500 до 1000 К, в то время как при отсутствии тепловой изоляции – от 970 до 400 К.

Создание «горячей» стенки способствует также снижению в наиболее теплонапряженной зоне реактора плотности теплового потока в среднем на 20 %, температурного фактора на 100 % и повышению среднemasсовой температуры газа-теплоносителя на 15 % (рисунок 6).

Поля температур в поперечном сечении реактора (рисунок 7) характеризуются эквидистантными кривыми, вид которых указывает на достаточно быстрое завершение процесса формирования составного газового потока на длине реактора менее 1 калибра и снижение темпера-

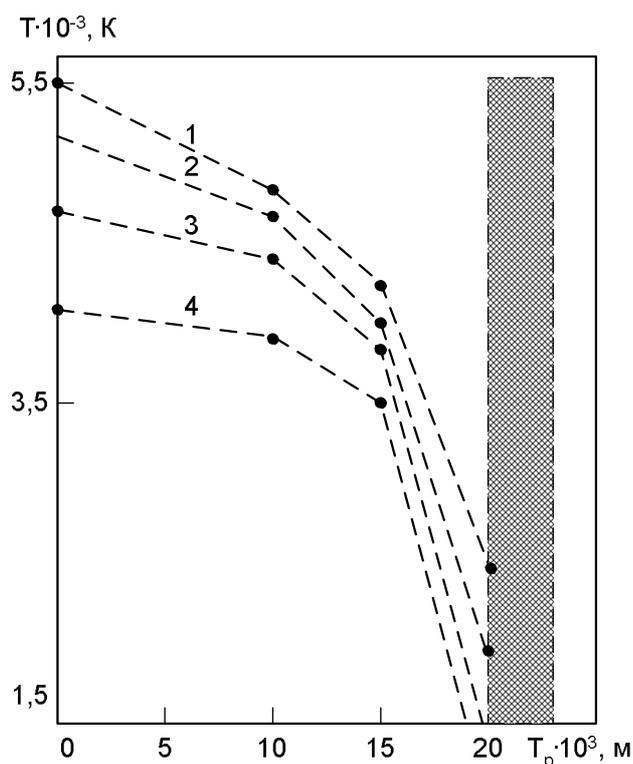


Рисунок 7 – Поля температуры газа-теплоносителя в поперечном сечении реактора при $x/D_x = 0,8$ (1); 1,80 (2); 3,5 (3); 5,8 (4) и мощности дугового разряда 80,8 кВт; # – гарниссаж из ZrO_2

Следует, однако, отметить оценочный характер приведенной на рисунке 7 информации, обусловленный непрогнозируемыми возмущениями, вносимыми в поток интенсивно охлаждаемым энтальпийным зондом и относительно малым количеством экспериментальных данных.

Таким образом, анализ теплотехнических характеристик трехструйного прямоточного водоохлаждаемого реактора с тепловой защитой стенок гарниссажем из плавленных оксидов ванадия, хрома, кремния, титана и циркония показывает технологическую целесообразность использования гарниссажных футеровок в процессах восстановительного синтеза.

Экспериментальное исследование теплообмена плазменного потока в теплоизолированном канале реактора

Как отмечалось выше, от тепловой защиты стенок реактора гарниссажными футеровками с различной теплопроводностью зависит и неодинаковая интенсивность конвективного теплообмена в нем, что не учитывается известными расчетными зависимостями (таблица 1) и требует исследования этого случая теплообмена.

Экспериментальному исследованию предшествовала оценка воз-

возможности применения для расчета теплообмена критериальной зависимости для ламинарного течения вида (1), для чего на рисунке 8 показано изменение коэффициента теплоотдачи по длине реактора, рассчитанное по уравнению (1) и экспериментально определенному тепловому потоку.

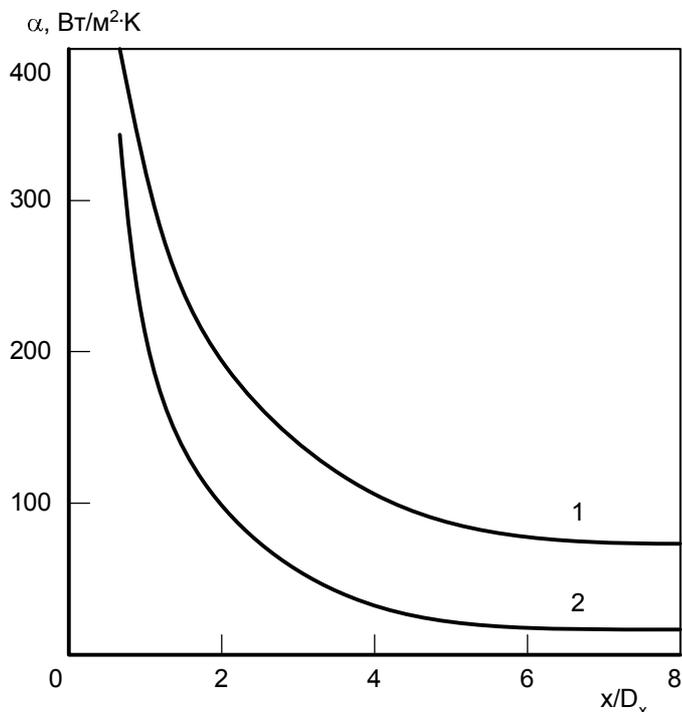


Рисунок 8 – Продольное распределение коэффициента теплоотдачи в канале нефутерованного реактора, рассчитанное по экспериментально определенному тепловому потоку (1) и по уравнению (1) $P = 80$ кВт;
 $G_p = 4,64$ кг/с; $Re_D = 1074$

Во всех рассматриваемых температурных зонах канала значения коэффициента теплоотдачи для исследуемого реактора на 60-300 % превышают рассчитанные по уравнению (1). Подобное несоответствие объясняется, по-видимому, слабым возмущающим воздействием холодных поперечных газовых струй в исследованном реакторе и, следовательно, неадекватностью условий формирования потока условиям в трехструйном реакторе, в связи с чем угол ввода плазменных струй в реакторе можно считать равным нулю. Теплообмен в реакторе характеризуется при таком угле минимальной интенсивностью. Поэтому применение уравнения (1), например, для моделирования теплообмена дисперсного сырья с плазменным потоком представляется нецелесообразным, так как это приведет к завышению реальных значений степени испарения.

Методика исследования теплообмена в реакторе рассматриваемого

типа подробно описана в [1]. Обработку экспериментальных данных проводили для равновесно диссоциированного азота, результаты представлены в виде зависимости

$$St = f(Re_{f,x} Pr_{f,x}^{-0,05}) \quad (1)$$

с использованием приемов исследования уравнения линейной регрессии вида

$$\tilde{y} = A + B\tilde{x}, \quad (2)$$

где $\tilde{y} = \lg(St \cdot Pr_{f,x}^{-0,05})$; $\tilde{x} = \lg(Re_{f,x})$. Найденные значения коэффициентов A и B в уравнении (2), а также значения коэффициента корреляции r для различных футеровок приведены в таблице 2. На рисунке 9 в качестве примера приведена зависимость комплекса $St \cdot Pr^{-0,05}$ от числа Рейнольдса Re_x для случая гарниссажной футеровки из оксида хрома,

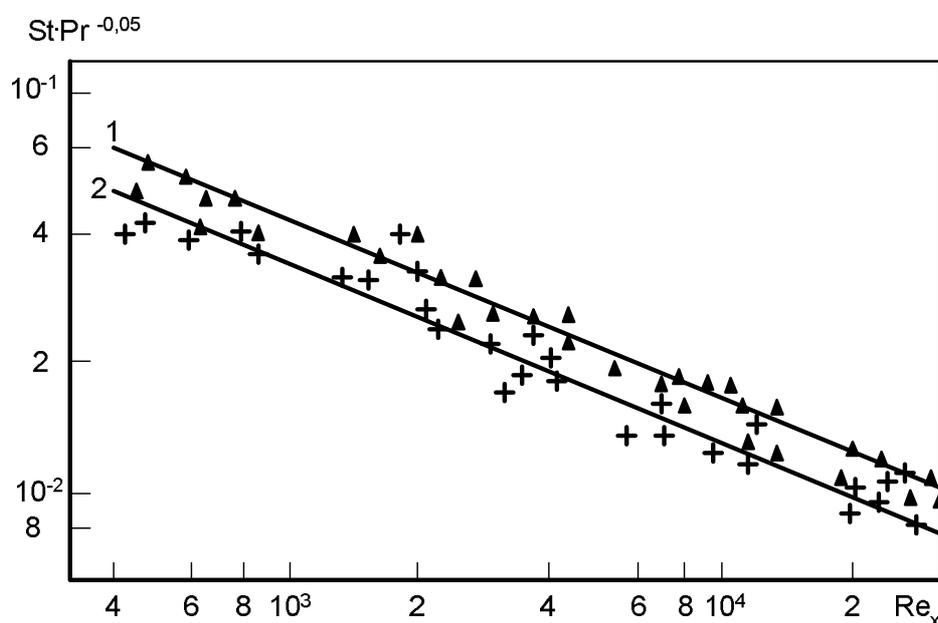


Рисунок 9 – Зависимости комплекса $St Pr^{-0,05}$ от числа Re_x . 1 – для нефутерованного реактора; 2 – для реактора с гарниссажем из оксида хрома а на рисунке 10 – рассчитанное по полученным уравнениям продольное распределение коэффициента теплоотдачи для различных энергетических режимов работы реактора.

Как можно видеть, интенсивность теплоотдачи резко падает на первых секциях канала реактора, однако по мере развития потока скорость ее падения уменьшается. Слои гарниссажа на стенках канала снижают теплоотдачу от плазменного потока на первых секциях реактора на 35 (оксид циркония) – 15 % (оксид кремния).

Таблица 2 – Значения коэффициентов А и В в уравнении $St = A Re_{f,x}^B Pr_{f,x}^{-0,05}$

Материал футеровки	Коэффициенты		Коэффициент корреляции r
	А	и В	
–	0,781±0,181	-0,421±0,084	0,959
ZrO ₂	0,602±0,145	-0,426±0,089	0,872
Cr ₂ O ₃	0,643±0,161	-0,424±0,098	0,891
V ₂ O ₃ , TiO ₂	0,672±0,155	-0,425±0,081	0,798
SiO ₂	0,703±0,147	-0,422±0,101	0,810

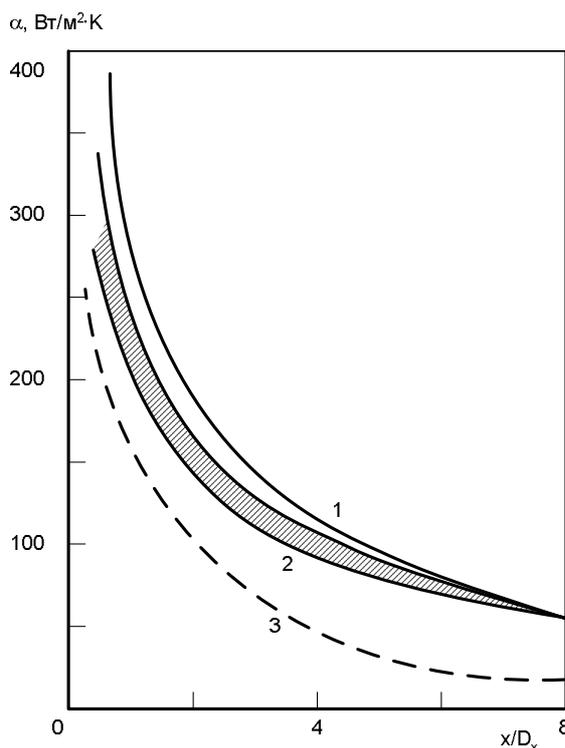


Рисунок 10 – Продольное расчетное распределение коэффициента теплоотдачи для нефутерованного реактора (1), реактора с гарниссажной футеровкой (2) и реактора с критериальной характеристикой теплообмена (3) при мощности дугового разряда 80,8 кВт

Математическое моделирование взаимодействия сырья с плазменным потоком

Экспериментально исследованные газодинамические и энергетические режимы работы трехструйного реактора с углом ввода струй 30° и получение расчетной зависимости для теплообмена плазменного потока со стенками позволили разработать математическую модель межкомпонентного теплообмена, обеспечивающую прогнозирование параметров эффективной переработки дисперсного сырья в реакторах подобного типа [2].

Выполненное в среде Microsoft Access компьютерное моделирование условий плазменного процесса обеспечивает при заданных характеристиках сырья, экспериментально определенных параметрах работы реактора и процесса, геометрических параметрах реактора и частиц расчет следующих величин: температуры и скорости газа и частиц, объемной концентрации дисперсного материала в газовом потоке, степени испарения, расчетной степени восстановления ($\alpha_{вр}$), долей энергии, переданной газом стенке, частицам и оставшейся в газе и т.д.

В результате расчета процессов движения и нагрева частиц диоксида кремния установлено, что определяющее влияние на степень испарения оказывают такие факторы, как энергетические характеристики потока, дисперсность и массовая расходная концентрация сырья (рисунок 11). При крупности частиц менее 5 мкм возможно достижение оптимальной нагрузки реактора (0,120 кг/кг) и максимального КПД потока (0,195-0,20). Экспериментально определенная степень восстановления на 5-10 % ниже расчетной, что объясняется полидисперсностью сырья и неизотермичностью плазменного потока.

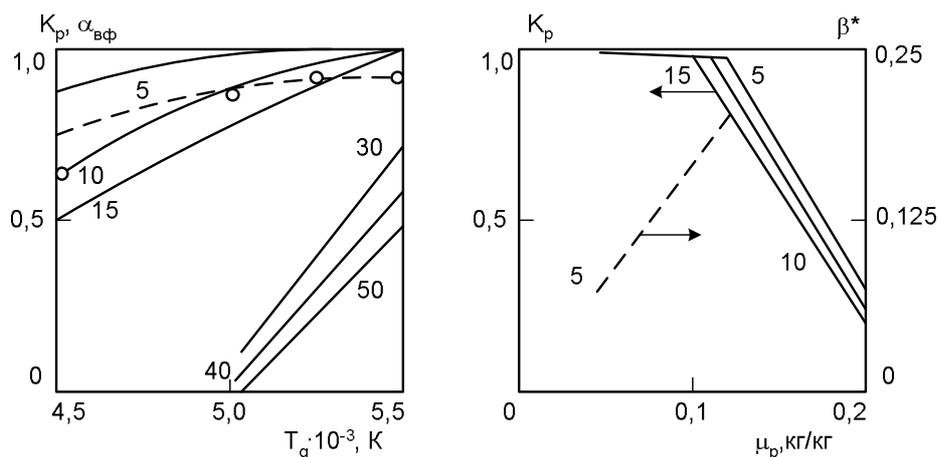


Рисунок 11 – Зависимость степени испарения частиц диоксида кремния (K_p) и доли энергии, переданной им при нагреве (β^*) от начальной температуры плазменного потока и массовой расходной концентрации (μ_p) 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 – размер частиц, $m \cdot 10^6$; $\mu_p = 0,071$ кг/кг; пунктиром показана фактическая степень восстановления диоксида кремния ($\alpha, \alpha_{вр}$)

ВЫВОДЫ

1. Изучены возможности совершенствования газодинамических и теплотехнических характеристик трехструйного прямоточного плазменного реактора: установлена эффективность организации тепловой защиты его при различных вариантах футеровки канала.

2. Исследован теплообмен плазменного потока в теплоизолирован-

ном канале реактора. Получены критериальные уравнения для расчета интенсивности теплоотдачи.

3. Разработана и реализована в среде Microsoft Access компьютерная математическая модель прогнозирования параметров эффективной плазменной переработки дисперсного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидродинамические и теплотехнические характеристики трехструйного прямоточного реактора для высокотемпературного синтеза тонкодисперсных материалов / Г.В. Галевский, М.Ф. Жуков, А.А. Корнилов и др. / Препринт № 226 – 90 - Новосибирск: ИТФ СО АН СССР, 1990. – 40 с.

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

УДК 669.162.046.546.2

В.А. Долинский, Л.Д. Никитин, Л.В. Портнов, С.Ф. Бугаев,
В.П. Горбачев

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

ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»

ВЫПЛАВКА ЧУГУНА С ПОНИЖЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ СЕРЫ В УСЛОВИЯХ ЗСМК

Повышенное содержание серы в железорудном сырье ОАО «ЗСМК» ухудшает качество выплавляемого чугуна и технико-экономические показатели доменной плавки. В процессе лабораторных и промышленных исследований установлено, что основными технологическими факторами, влияющими на содержание серы в чугуне, являются температура, состав и количество шлака. При увеличении модуля основности шлака коэффициент распределения серы между чугуном и шлаком растет до максимального значения, а затем уменьшается из-за повышения вязкости и температуры плавления основного шлака.

The raised maintenance of sulfur in iron ore raw material of West Siberian Steel Corporation worsens quality of sucelted pig-iron and technical and economic parameters domain swimming trunks. During laboratory and industrial researches it is established, that by the basic technology factors influencing the maintenance of sulfur in pig-iron, the temperature, structure and quantity of slag are. At increase in the module of basicity of slag the factor of distribution of sulfur between pig-iron and slag grows up to the maximal value, and then decreases because of increase of viscosity and temperature of fusion of the basic slag.

Особенностью железорудного сырья, проплавляемого на ОАО «ЗСМК», является повышенное содержание в нем серы, ухудшающей качество выплавляемого чугуна и технико-экономические показатели доменной плавки. Негативным обстоятельством является то, что материалы (агломерат, окатыши, руда) резко различаются по богатству железом, содержанию и химическому составу пустой породы. Это обуславливает существенные отличия их поведения в доменной печи, приводит к росту колеблемости химического состава и свойств продуктов плавки, обессеривающей способности шлака.

В шихте доменной плавки используется от 97,0 до 99,5 % подготовленного железорудного сырья (агломерат, окатыши) и около 0,5 -

3,0 % доменной руды, железосодержащих отходов других производств (окалина, сварочный шлак).

Основным компонентом доменной шихты является агломерат производства ОАО «ЗСМК» с содержанием железа на уровне 57,0 % и серы на уровне 0,03 %. Количество агломерата местного производства в доменной шихте (в отдельные периоды) достигает 95 – 98 %.

В шихте используются привозные материалы: агломерат, окатыши и доменная руда. Агломерат Абагурского филиала «Евразруды» (до 10,0 %), имеет, в отличие от местного агломерата, меньшее содержание железа (около 54 – 55 %) и большее содержание серы (до 0,07 %). Неофлюсованные окатыши (модуль основности по CaO/SiO_2 на уровне 0,4 ед.) Качканарского и Михайловского горно-обогачительных комбинатов, имеют повышенное содержание железа (61 – 64 %) и более низкое содержание серы (около 0,01 - 0,02 %). Доменная руда применяется эпизодически для промывки горна доменных печей. Химический состав руды характеризуется низким содержанием железа (на уровне 45 – 48 %), основностью по CaO/SiO_2 на уровне 0,5 ед. и высоким содержанием серы (до 1,5 – 2 %). Промывку горна осуществляют также отходами прокатного производства комбината (окалина, сварочный шлак), содержащими значительное количество железа (65 - 70 %) и низкое - серы (не превышает 0,006 %).

В качестве топлива используется кокс фракции более 40 мм мокрого и сухого тушения, расход сухого скипового кокса в доменной плавке колеблется от 425 до 450 кг/т чугуна. Содержание золы в коксе колеблется в пределах 10,5 - 11,8 %, серы - 0,40 - 0,42 %.

Поддержание необходимой основности шлака и обессеривающей способности осуществляется изменением базовой основности местного агломерата, изменением соотношения кислых и основных компонентов доменной шихты и, эпизодически, загрузкой флюсов (конвертерный шлак, кварцит) в количестве не более 5 кг/т чугуна. Содержание серы в используемых флюсующих добавках не превышает 0,10 - 0,12 %.

Такой состав доменной шихты обеспечивает средний приход серы в доменную плавку на уровне 2,2-2,4 кг/т чугуна. При этом, основное количество серы вносится коксом (около 1,6-1,9 кг/т или 70 - 80 %) и агломератом местного производства (около 0,4 - 0,6 кг/т или 15 – 20 %).

В процессе доменной плавки сера, попадающая в печь, распределяется между шлаком (около 80 %), чугуном (около 10 %) и колошниковым газом (около 10 %). Распределение серы определяется, в первую очередь, расходом кокса на выплавку чугуна, химическим и минералогическим составом местного агломерата, содержанием серы в коксе и агломерате, изменением технологических параметров процесса доменной плавки (содержанием кремния, значениями модулей основности

шлака, выходом шлака). Следствием этого, являются значительные колебания коэффициента распределения серы между чугуном и шлаком (от 30 до 42 ед.).

Минимальное среднее содержание серы в чугуне (0,015 %) и максимальное значение L_s (36,7 ед.) было достигнуто в 2003 г. при работе доменных печей с низким приходом серы (на уровне 2,1 - 2,2 кг/т чугуна), высокой интенсивностью плавки (2,2 - 2,3 т/м³ · сутки) на шлаках высокой обессеривающей способности.

С середины 2004 г. вследствие увеличения в агломерационной шихте ОАО «ЗСМК» количества коршуновского концентрата (с особой природой магнезии) и содержания магнезии и глинозема в агломерате свойства шлака, в частности, обессеривающая способность, ухудшились. Следствием этого явилось уменьшение среднего значения коэффициента распределения серы между чугуном и шлаком с 36,7 до 30,0 ед. (2004 г.). Для успешного хода процесса десульфурации при выплавке чугуна на таких шлаках требовалось повышение тепловое состояние горна и основности шлака. При увеличении температуры шлаки становились более жидкотекучими, скорость диффузии сульфида кальция возрастала, а коэффициент распределения серы между чугуном и шлаком увеличивался до 32 - 33 ед. Однако, основные технико-экономические показатели процесса плавки (производительность печи, расход кокса и себестоимость чугуна) ухудшались.

При отработке технологии выплавки чугуна с пониженным содержанием серы (при известном её приходе с шихтой) путем изменения модулей основности шлака, содержания в нем разжижающих компонентов и теплового состояния горна осуществлялось воздействие на коэффициент распределения серы между чугуном и шлаком. Получение необходимого коэффициента распределения серы в непостоянных шихтовых условиях и изменяющейся потребности в чугуне производили поддержанием определенного состава доменной шихты и параметров технологического режима, обеспечивающих получение чугуна с пониженным (на уровне 0,017 - 0,015 %) содержанием серы. Корректировку состава доменной шихты осуществляли:

- ограничением среднего содержания серы в основном (около 90 %) компоненте доменной шихты - агломерате производства комбината до уровня 0,03 - 0,02 % и коксе – до 0,40 %;

- уменьшением в шихте количества высокосернистых (агломерат, руда) и увеличением низкосернистых (окатыши, металлодобавки) материалов. Содержание агломерата и руды уменьшалось, соответственно, с 90 – 92 % до 83 – 82 % и 2 – 3 % до 1 – 0 %.

Основность доменной шихты изменялась из расчета получения шлака с основностью, необходимой для обеспечения требуемых усло-

вий обессеривания чугуна.

В процессе лабораторных и промышленных исследований установлено, что основными технологическими факторами, влияющими на содержание серы в чугуне, являются температура, состав и количество шлака. При увеличении модуля основности шлака по CaO/SiO_2 коэффициент распределения серы между чугуном и шлаком растет до максимального значения, а затем уменьшается из-за повышения вязкости и температуры плавления основного шлака.

Определение влияния состава доменной шихты и параметров технологического режима доменной плавки осуществлялось при соответствующей их корректировке, в процессе проведения промышленных плавов на доменных печах. Оценку возможности выплавки чугуна с низким содержанием серы производили выбором и обработкой периодов работы доменных печей в изменяющихся шихтовых условиях (с различным приходом серы). За базовый (I) принят период работы печи в 2003 г., исследовательские периоды: (II) - 2004 г., (III) - I полугодие 2005 г., (IV) - июль, (V) – август и (VI) – сентябрь 2005 г. (таблица 1).

Анализ результатов работы доменных печей в исследуемые периоды свидетельствует о значительных колебаниях прихода серы в плавку (от 2,2 до 3,11 кг/т чугуна) при изменяющемся составе шихты и содержании серы в её компонентах (рисунок 1). Так, содержание серы в агломерате ЗСМК в IV и V периоде увеличивалось до 0,070 и 0,067 %, и было обусловлено изменением состава агломерационной шихты (снижением количества концентратов и увеличением смеси руд). Несмотря на высокий приход серы в плавку, 3,11 и 2,92 кг/т чугуна соответственно, содержание серы в чугуне было на минимальном уровне (0,015 %). Максимальный коэффициент распределения серы между чугуном и шлаком (соответственно 40,0 и 39,3 ед.) обусловлен повышенным выходом шлака (442,6 и 429,3 кг/т против обычного уровня – около 355 кг/т чугуна), высоким содержанием кремния - 0,54 % и модулями основности по CaO/SiO_2 – 1,03 и 1,04 ед.; $(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$ - 1,26 и 1,25 ед. Увеличению коэффициента распределения серы (в эти периоды) способствовало уменьшение средних концентраций магнезии и глинозема в шлаке, соответственно, до 8,84 - 8,03 % и 13,38 - 13,02 % (против обычного уровня 10 – 11 % и 13,5 – 14 %). Изменение коэффициента распределения серы между чугуном и шлаком по исследовательским периодам представлено на рисунке 2.

Снижение содержания серы в чугуне указанных периодов произошло вследствие улучшения условий обессеривания чугуна при повышении:

- устойчивости шлаков вследствие снижения содержания магнезии;

- выхода шлака;
- модулей основности шлака по CaO/SiO_2 и $(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$;
- коэффициента распределения серы между чугуном и шлаком.

В этих же периодах достигнута более высокая стабильность качества выплавляемого чугуна по содержанию серы до 0,020 и 0,028 %, соответственно, 93,6 - 95,2 % и 100,0 - 99,8 %.

В других исследовательских периодах (II, III, VI) содержание серы в чугуне определялось её приходом, не превышающим 2,3 кг/т чугуна, содержанием кремния, модулями основности шлака и было не выше 0,018 %. В VI периоде (при минимальном приходе серы – 2,2 кг/т чугуна) содержание серы ниже (0,017 %), чем в периодах II, III. Это можно объяснить более высоким значением модуля основности по CaO/SiO_2 и меньшим содержанием магнезии в шлаке (см. таблицу 1). Повышение коэффициента распределения серы в III и VI периодах произошло из-за увеличения теплового резерва в горне, на что указывает повышение теоретической температуры горения до 2163 °С и содержания кремния в чугуне до 0,52 - 0,54 %.

Стабильность качества выплавляемого чугуна по содержанию серы до 0,020 и 0,028 % в этих исследовательских периодах несколько ниже, чем в периодах IV и V, соответственно, 69,7 - 80,5 % и 97,9 - 98,5 %. Снижение стабильности чугуна в III и VI периодах можно объяснить выплавкой чугуна с повышенным содержанием серы в периоды остановок и раздувок доменных печей № 2, 3 (проведение капитальных ремонтов).

Изменение основных технико-экономических и качественных результатов работы доменного цеха в исследуемые периоды представлено в таблице 2.

Следует отметить, что удельная производительность цеха в исследуемых периодах, определялась потребностью в чугуне и степенью форсирования процесса плавки, наличием необходимого сырья, стабильностью его химического состава и качества. Снижение потребности в чугуне на рынке металлопроката, проведение капитальных ремонтов I и II разрядов двух доменных печей обусловило уменьшение удельной производительности цеха в сравнении с 2003 г. (I период).

Удельная производительность (рисунок 3) доменного цеха при колебаниях основных технологических параметрах (содержание железа в шихте, концентрация кислорода в дутье, температура дутья, давление газа под колошником и т.п.) находилась на уровне 2,1 - 2,2 т/(м³ · сут.). Уменьшение производительности ниже указанного уровня происходило по причинам, независящим от доменного цеха, а именно: невостробованность чугуна, проведение капитальных ремонтов двух доменных печей и т.п.

Так, значительное снижение удельной производительности доменного цеха в IV и V периоде произошло из-за не востребоваемости чугуна на рынке металлопроката. Содержание железа в доменной шихте было снижено до 54,28 – 54,90 %, а концентрация кислорода в дутье – до 24,07 - 26,43 %. Это обусловило снижение интенсивности процесса плавки (удельная производительность уменьшалась до 2,0 - 1,8 т/(м³ · сут.) и увеличение выхода шлака с 355 - 357 до 430 - 440 кг/т чугуна. При этом содержание серы в чугуне уменьшалось до уровня 0,015 %, а коэффициент распределения серы между чугуном и шлаком увеличивался до 39 - 40 ед.

Фактический удельный расход кокса (рисунок 4) характеризовался непостоянством вследствие изменения основных технологических параметров (содержания железа в шихте, расхода природного газа, температуры дутья, содержания кремния в чугуне, качества кокса) и находился на уровне 448,5 - 430,2 кг/т чугуна. Высокий расход кокса (448,5 кг/т чугуна) соответствует периоду работы цеха с низкими интенсивностью (концентрация кислорода в дутье уменьшилась до 24,07 %) и содержанием железа (54,28 %). Наиболее низкий расход кокса (430,2 кг/т чугуна) получен в VI периоде при работе цеха с достаточно высокими содержанием железа в шихте (57,3 %), расходом природного газа (98,4 м³/т чугуна) и температурой дутья (1193оС), меньшим содержанием кремния (0,52 %) и простоями доменных печей (1,25 % к номинальному времени), более высоким качеством кокса (см. таблицу 1).

Таким образом, промышленные и лабораторные исследования, анализ основных технико - экономических показателей свидетельствует о том, что выплавка качественного (по содержанию серы до 0,015 %) чугуна возможна при уменьшении интенсивности процесса плавки (до 2,0 т/(м³ · сут.) и увеличении выхода шлака (до 430 кг/т чугуна).

Результаты работы доменного цеха ОАО «ЗСМК» указывают на то, что при соответствующей корректировке состава доменной шихты и технологических параметров возможно обеспечение выплавки чугуна с содержанием серы на уровне 0,017 %, при интенсивности плавки на уровне 2,2 т/(м³сут.).

Применяя шлаки достаточно высокой основности и, в случае необходимости, увеличивая их количество можно получить чугун с содержанием серы на уровне 0,015 %, несмотря на использование кокса с высоким содержанием серы (0,41 - 0,42 %). Необходимое содержание серы в чугуне при заданном приходе её с шихтой достигается воздействием на коэффициент распределения серы между чугуном и шлаком путем изменения основности, температуры шлака и содержания в нем разжижающих компонентов.

Таблица 1 - Состав доменной шихты и основные технологические параметры, определяющие процесс обессеривания

Наименование	Ед. изм.	Периоды работы					
		I	II	III	IV	V	VI
Длительность периода	СУТ.	365	357	162	31	31	30
Состав доменной шихты:	%						
агломерат ЗСМК	- « -	88,2	92,3	91,2	92,9	82,9	81,3
окатыши привозные	- « -	10,2	6,0	5,4	4,8	8,6	11,9
агломерат привозной	- « -	0,1	0,1	0,0	0,6	6,7	6,0
руда доменная привозная	- « -	0,5	0,8	2,5	0,9	0,7	0,0
Металлодобавки	- « -	1,0	0,8	0,9	0,8	1,1	0,8
Содержание железа в шихте	%	57,64	57,69	57,75	54,28	54,90	57,30
Содержание серы:	- « -						
агломерате ЗСМК	- « -	0,027	0,024	0,030	0,070	0,067	0,031
окатышах привозных	- « -	0,010	0,010	0,010	0,011	0,012	0,012
агломерате привозном	- « -	0,033	0,036	0,043	0,034	0,040	0,039
руде доменной привозной	- « -	0,40	0,39	0,41	0,42	0,41	0,41
коксе ЗСМК	- « -	0,41	0,41	0,41	0,42	0,41	0,41
чугуне	- « -	0,015	0,018	0,018	0,015	0,015	0,017
шлаке	- « -	0,55	0,54	0,58	0,60	0,59	0,56
Общий приход серы	кг/т	2,21	2,27	2,30	3,11	2,92	2,20
в т.ч. с коксом	%	80,2	78,8	77,8	60,55	62,53	78,11
Содержание кремния	%	0,41	0,51	0,54	0,54	0,54	0,52
Содержание в шлаке: CaO	- « -	38,28	35,92	35,65	39,72	40,09	37,44
SiO ₂	- « -	38,06	37,82	37,43	38,50	38,62	38,31
MgO	- « -	9,68	10,69	10,81	8,84	8,03	9,55
Al ₂ O ₃	- « -	11,75	13,47	14,29	13,38	13,02	14,24
Основность шлака CaO/SiO ₂	ед.	1,01	0,95	0,95	1,03	1,04	0,98
(CaO+MgO)/SiO ₂	- « -	1,26	1,23	1,24	1,26	1,25	1,23
Выход шлака	кг/т	344,6	355,4	357,2	442,6	429,3	355,0
Коэффициент распределения серы	ед.	36,7	30,0	32,2	40,0	39,3	32,9

Таблица 2 - Основные технико-экономические показатели работы доменного цеха в исследуемые периоды

Наименование	Ед. изм.	Периоды работы					
		I	II	III	IV	V	VI
Производительность фактическая	т/сут.	13417	12751	13420	9096	10031	10999
Удельная производительность	т/(м ³ ·сут)	2,236	2,125	2,002	1,819	2,006	2,199
Удельный расход кокса факт.	т/т	434,2	441,10	440,27	448,5	445,8	430,2
Содержание золы в коксе	%	11,09	11,12	11,24	11,12	11,36	11,10
Прочность кокса по М10	%	7,86	7,98	7,88	7,76	7,72	7,70
Расход: природного газа	м ³ /т	91,4	86,88	95,73	99,5	90,0	98,4
кислорода	- " -	114,3	111,85	108,93	96,1	106,7	113,3
дутья	м ³ /мин.	9646,3	9582,7	12528	7382	7382	7709
Соотношение «пр. газ-кислород»	ед.	0,80	0,78	0,88	1,03	0,84	0,87
Содержание кислорода в дутье	%	28,26	27,25	26,98	24,07	26,43	27,47
Температура: дутья	°С	1185,4	1172	1168	1183,1	1178,9	1193
колошникового газа	- " -	138,3	152	163	175	156	150
Теоретическая температура горения	- " -	2136	2157	2163	2152	2161	2163
Давление газа под колошником	МПа	0,175	0,169	0,159	0,149	0,159	0,160
Общий перепад давления газов	- " -	0,166	0,165	0,158	0,164	0,164	0,164
Степень использования СО	%	46,37	46,37	45,91	46,62	46,21	46,20
Вынос колошниковой пыли	кг/т	6,0	8,53	9,94	12,6	12,0	13,6
Простой к номинальному времени	%	1,47	1,73	3,59	3,63	1,21	1,25
Стабильность по сере: до 0,020 %	%	90,7	69,9	69,7	93,6	95,2	80,5
до 0,028 %	- " -	99,7	98,5	97,9	100,0	99,8	98,0

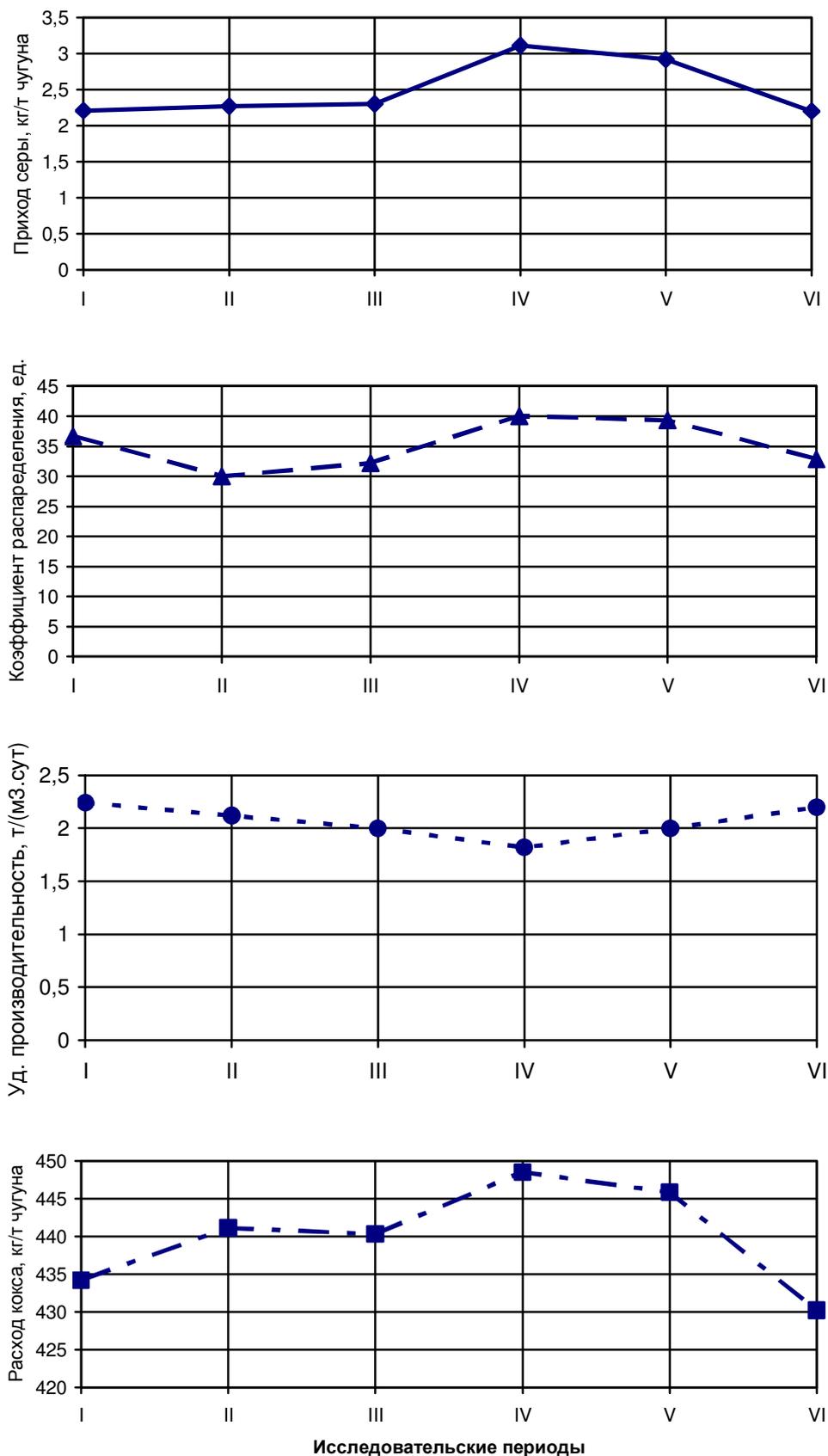


Рисунок 1 – Изменение прихода серы и некоторых технологических параметров процесса плавки

УДК 669.046.564:621.785

М.В. Темлянцев

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

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОГО ФАКТОРА НА ГЛУБИНУ ВИДИМОГО ОБЕЗУГЛЕРОЖЕННОГО СЛОЯ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ

В статье представлены результаты лабораторных экспериментов по исследованию влияния температурно-временного фактора на глубину обезуглероженного слоя рельсовой стали. Установлено, что выдержки металла при постоянной температуре 1250 – 1300 °С продолжительностью от 1 до 3 часов способствуют уменьшению глубины видимого обезуглероженного слоя.

In the article the outcomes of laboratory experiments on research of influence of the temporary-time factor on depth decarburization of a layer of rail steel are submitted. It is established, that of endurance of metal at a constant to temperature 1250 – 1300 °С by duration from 1 till 3 hours promote reduction of depth visible decarburization of a layer.

Работа выполнена по гранту Президента РФ на поддержку молодых российских ученых и ведущих научных школ для выполнения научных исследований МК–5544.2006.8.

Нагрев стали в пламенных или электрических печах в атмосфере продуктов сгорания газообразного топлива или воздуха сопровождается окислением и обезуглероживанием металла. В высокотемпературной области (более 800 – 900 °С) эти процессы протекают параллельно и взаимосвязано. Одними из главных факторов, влияющих на динамику процессов окисления и обезуглероживания является температура и время нагрева т.е. температурно-временной фактор. Основным практический интерес представляет глубина видимого обезуглероженного слоя δ , мм, образовавшегося в стальных заготовках или слитках после нагрева в печи. Различные варианты (наиболее сложные) взаимосвязанного протекания процессов окисления и обезуглероживания, в случаях, когда исходный металл не окислен и не обезуглерожен, а зависимости интенсивности I окисления и обезуглероживания от времени τ нагрева имеют вид, отличный от прямолинейного, схематично представлены на рисунке 1 [1].

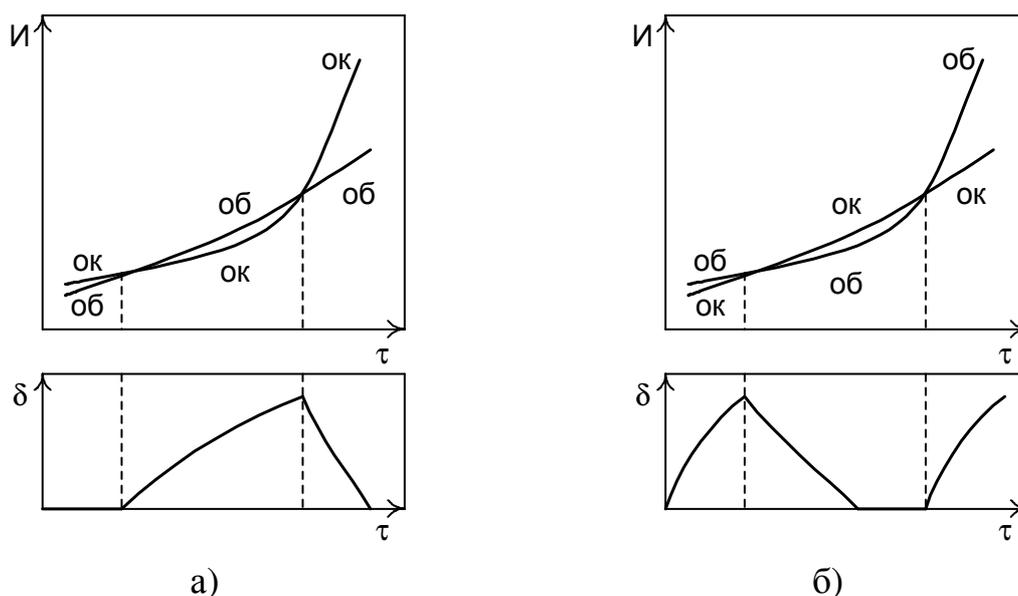


Рисунок 1 – Различные схемы совместного протекания процессов окисления (ок) и обезуглероживания стали (об)

Рисунок 1, а первая стадия – интенсивность окисления выше интенсивности обезуглероживания, вторая – интенсивность обезуглероживания выше интенсивности окисления, третья – интенсивность окисления выше интенсивности обезуглероживания. Соответственно на первой стадии увеличения глубины обезуглероженного слоя не происходит, на второй она растет, а на третьей – уменьшается.

Рисунок 1, б первая стадия – интенсивность обезуглероживания выше интенсивности окисления, вторая – интенсивность окисления выше интенсивности обезуглероживания, третья – интенсивность обезуглероживания выше интенсивности окисления. На первой стадии наблюдается рост глубины обезуглероженного слоя, на второй его уменьшение вплоть до полной ликвидации и на третьей – повторное увеличение.

На основе результатов проведенных ранее лабораторных опытов [2] в рамках данной работы провели исследование влияние температурно-временного фактора на глубину видимого обезуглероживания рельсовой электростали марки Э76Ф. Нагрев образцов, вырезанных из поверхностных слоев непрерывнолитой заготовки, осуществляли в электрической печи в атмосфере воздуха до фиксированных температур 1200, 1250, 1300 и 1350 °С и выдерживали при этих температурах в течение 1, 2, 3, 6 ч. Результаты определения глубины обезуглероженного слоя металлографическим методом представлены на рисунках 2 и 3.

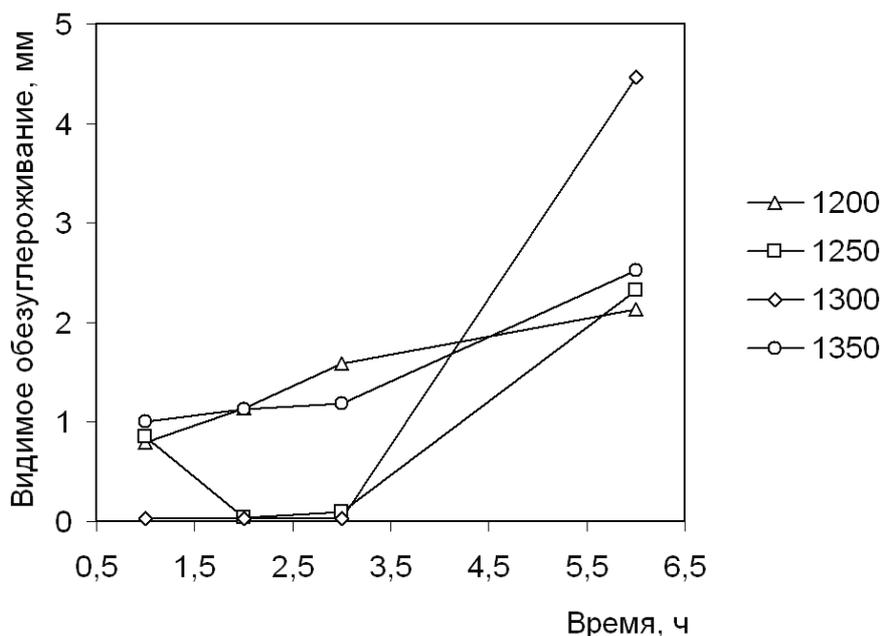


Рисунок 2 – Зависимость глубины видимого обезуглероженного слоя от времени выдержки при различных температурах нагрева

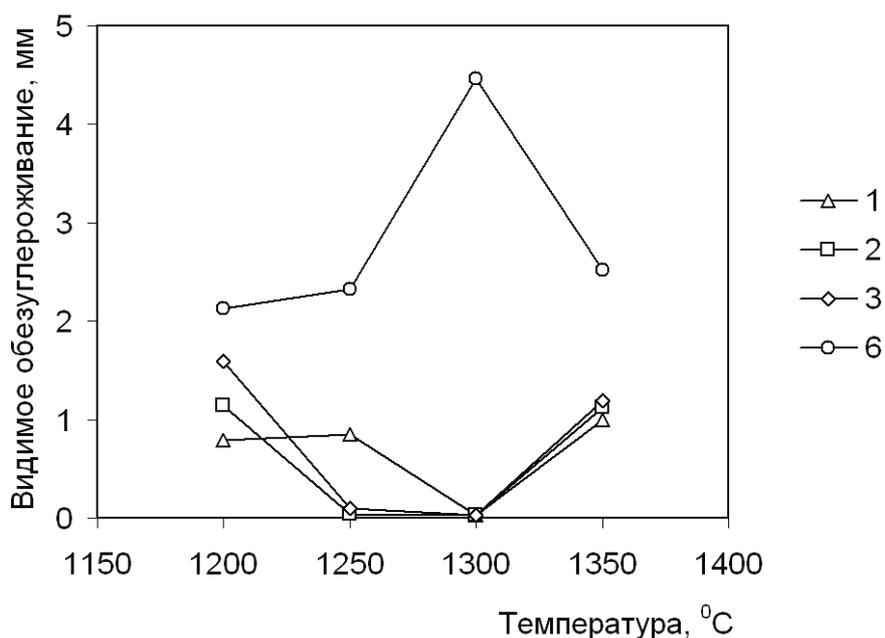


Рисунок 3 – Зависимость глубины видимого обезуглероженного слоя от температуры нагрева для различного времени выдержки

Анализ полученных результатов показывает, что зависимости глубины видимого обезуглероживания от температурно-временного фактора во многих интервалах не монотонные. Для температур 1200 и 1350 °С глубина видимого обезуглероженного слоя растет с увеличением времени выдержки с 1 до 6 ч, что свидетельствует о превалировании

интенсивности обезуглероживания над интенсивностью окисления стали. При температуре 1250 °С выдержка от 1 до 2 ч сопровождается снижением глубины обезуглероженного слоя во временном интервале 2 – 3 ч он остается практически постоянным, далее наблюдается его рост. Очевидно при выдержке в течение 1 – 2 ч интенсивность окисления преобладает над интенсивностью обезуглероживания, при 2 – 3 ч выдержке они практически равны, а при более продолжительной выдержке интенсивность окисления превалирует. При температуре 1300 °С равные скорости окисления и обезуглероживания наблюдаются при выдержке от 1 до 3 ч, а далее обезуглероживание значительно интенсифицируется. Учитывая, что состав атмосферы и температура в опытах постоянны подобные зависимости связаны с изменением толщины, структуры и свойств окалина (при температурах нагрева 1350 °С наблюдали оплавление окалина) и их влиянием именно на процесс обезуглероживания. Характерно, что с увеличением времени выдержки до 6 ч интенсивность процесса окисления (окаинообразования) замедляется, однако скорость процесса обезуглероживания замедляется, но в меньшей степени (а возможно и остается постоянной) о чем свидетельствуют более высокая глубина обезуглероженного слоя. При выборе режима нагрева (конечная температура нагрева не превышает 1250 °С) под прокатку рельсовой стали в печах с окислительной атмосферой в целях уменьшения глубины обезуглероженного слоя в рельсах необходимо учитывать, что томление при температурах поверхности 1200 °С может оказывает негативное влияние, а 1250 °С способствовать поглощению обезуглероженного слоя окалиной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Темлянцев М.В., Михайленко Ю.Е. Окисление и обезуглероживание стали в процессах нагрева под обработку давлением. – М.: Теплотехник, 2006. – 200 с.
2. Темлянцев М.В. Определение максимальных температур нагрева перед прокаткой рельсовой электростали / Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сб. науч. тр. – Новокузнецк: Изд. СибГИУ. 2005. Вып.15. С. 61 – 64.

УДК 669.14.018.294.2

Л.В.Корнева*, Т.Н. Осколкова

ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат»*,
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

РАЗРАБОТКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СТАЛИ ДЛЯ РЕЛЬСОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ

В статье представлены результаты по оптимизации химического состава низколегированной стали с целью обеспечения на нетермоупрочнённых рельсах требуемого комплекса механических свойств.

In this article the results of the chemical composition of low-alloy steel optimization are presented. The aim of the chemical composition optimization is to provide necessary combination of mechanical properties for rails without heat treatment.

Применение низколегированных марок стали, как показывает зарубежный опыт, открывает возможность производства рельсов для магистральных линий и метрополитенов, к основным требованиям которых относятся не только высокая точность геометрии и прямолинейность, но высокая сопротивляемость хрупкому излому [1]. Надежность против хрупкого разрушения рельсов, как известно, достигается оптимальным сочетанием прочности и пластичности стали. С целью обеспечения на нетермоупрочнённых рельсах требуемого комплекса механических свойств на ОАО «НКМК» проведена работа по оптимизации химического состава низколегированной стали.

При разработке низколегированных сталей проведен анализ химического состава и механических свойств нетермоупрочнённых рельсов из углеродистой стали текущего производства, который показал, что временное сопротивление разрыву рельсов возрастает с увеличением содержания углерода (рисунок 1), марганца (рисунок 2), кремния (рисунок 3) и хрома (рисунок 4) в стали. С другой стороны, установлено неоднозначное влияние указанных химических элементов на относительное удлинение. Значение его заметно снижается с повышением содержания углерода (рисунок 5) и несколько возрастает с повышением концентрации хрома (рисунок 6). Определенной зави-

симости относительного удлинения от концентрации марганца (рисунок 7) и кремния не установлено (рисунок 8).

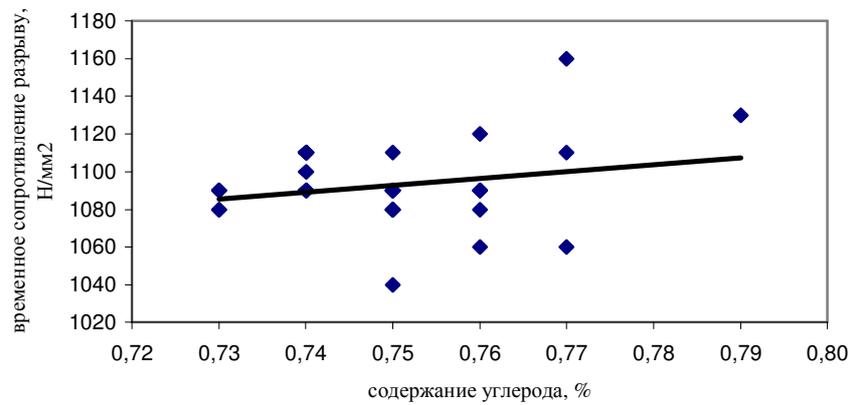


Рисунок 1 – Зависимость временного сопротивления углеродистой стали от содержания углерода

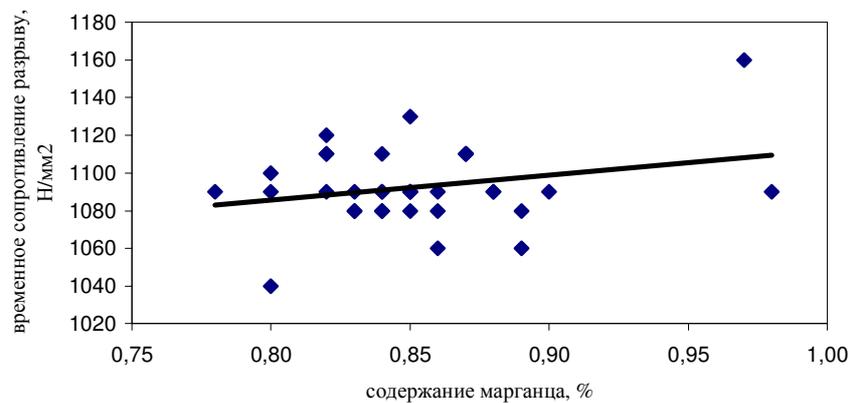


Рисунок 2 – Зависимость временного сопротивления углеродистой стали от содержания марганца

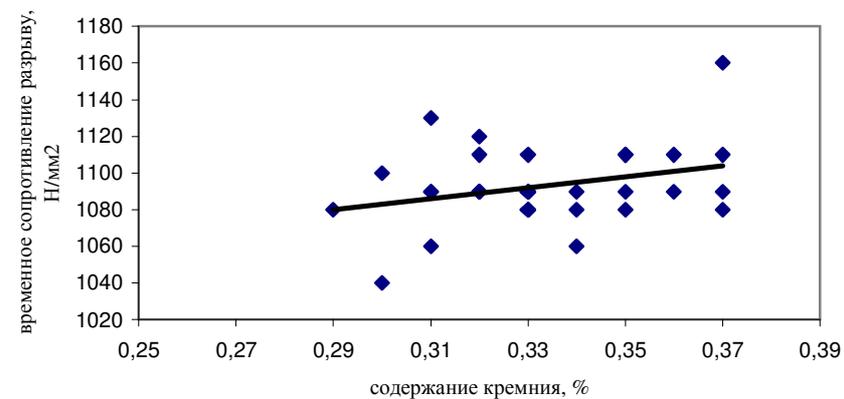


Рисунок 3 – Зависимость временного сопротивления углеродистой стали от содержания кремния

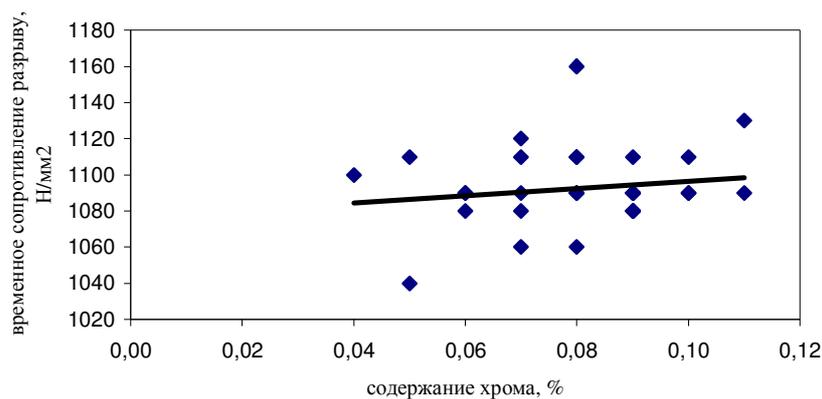


Рисунок 4 – Зависимость временного сопротивления углеродистой стали от содержания хрома

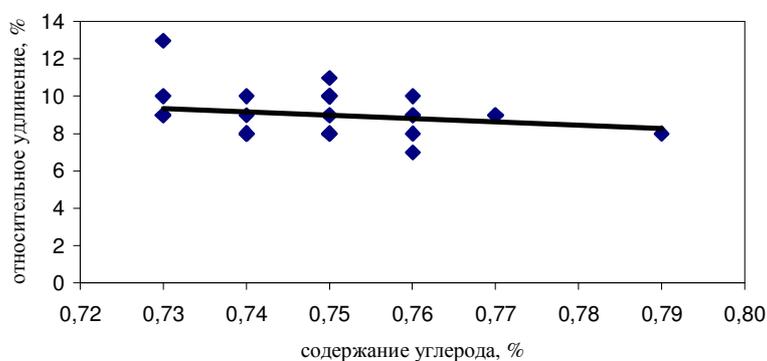


Рисунок 5 – Зависимость относительного удлинения углеродистой стали от содержания углерода

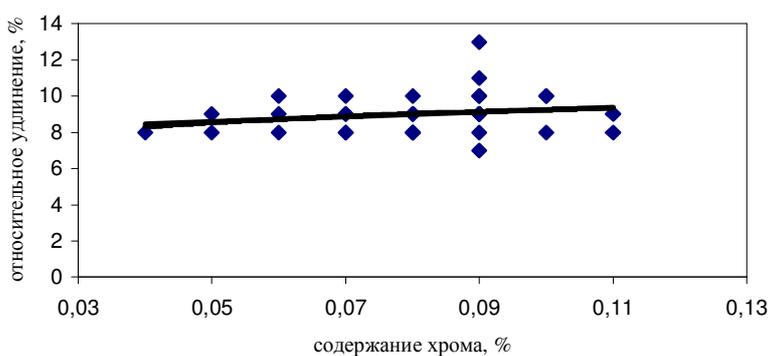


Рисунок 6 – Зависимость относительного удлинения углеродистой стали от содержания хрома

Выявленные выше закономерности влияния углерода, марганца, кремния и хрома на механические свойства подтвердились на серии опытно промышленных плавов (таблица 1) низколегированной стали,

выплавленной в электропечи и разлитой на МНЛЗ. Опытный металл был прокатан на рельсы Р65.

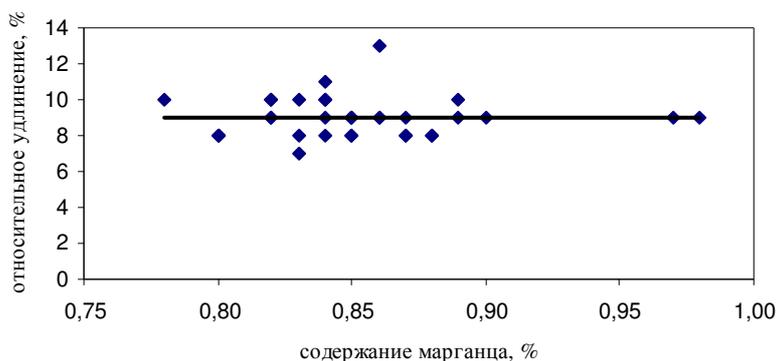


Рисунок 7 – Зависимость относительного удлинения углеродистой стали от содержания марганца

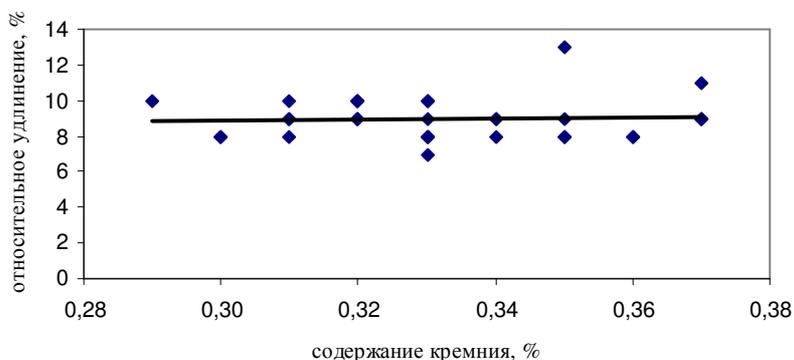


Рисунок 8 – Зависимость относительного удлинения углеродистой стали от содержания кремния

Таблица 1 – Химический состав низколегированной стали

№ плавки	Массовая доля элементов, %									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	V
1	0,76	0,96	0,59	0,018	0,008	0,65	0,05	-	-	0,07
2	0,79	0,92	0,57	0,017	0,009	0,53	-	-	-	0,07
3	0,70	0,80	0,32	0,013	0,004	0,78	0,09	0,16	0,005	0,07
4	0,72	0,80	0,34	0,010	0,006	0,77	0,09	0,14	0,005	0,07
5	0,71	0,83	0,36	0,011	0,006	0,79	0,08	0,16	0,005	0,06

Опыт изготовления нетермоупрочненных рельсов из стали промышленных плавки показал, что при сравнительно высоких концентрациях углерода (0,76-0,79 %), марганца (0,92-0,96 %) и кремния (0,57-0,59 %), но с более низким содержанием хрома (0,63-0,53 %) на рельсах обеспечиваются сравнительно высокие значения прочност-

ных характеристик и низкие значения пластических свойств (таблица 2). При снижении концентрации углерода, марганца и кремния и повышении содержания хрома (плавки № 3, 4, 5) наблюдается незначительное снижение прочностных характеристик и существенное повышение пластических свойств без заметного изменения твердости.

Величина действительного зерна стали, содержащей 0,79 % хрома, оценивается преимущественно номером 6 по ГОСТ 5639-82. При меньшем содержании хрома (0,53 %) действительное зерно несколько крупнее и соответствует номеру 5-6. Модифицирующее влияние ванадия, вводимого совместно с азотом, оценить в данной работе не представилось возможным, так как количество его во всех плавках находилось на одном уровне. Структура углеродистой стали, легированной хромом, представляет собой тонкопластинчатый перлит.

Таблица 2 – Механические свойства и твердость низколегированной стали

№	σ_T	σ_B	δ	ψ	Твёрдость, НВ
	МПа		%		ПКГ
1	770	1200	7,0	12,0	341
	740	1160	7,0	12,0	341
2	760	1140	6,0	8,0	341
	770	1130	7,0	9,0	341
3	696	1098	9	19	341
	706	1098	10	20	
4	686	1088	10	15	352
	696	1117	10	18	
5	715	1117	11,5	21,5	341
	715	1117	11	21	

Таким образом, оптимальное сочетание углерода и легирующих элементов в рельсовой стали обеспечивает у нетермоупрочненных рельсов благоприятное соотношение твердости, прочности и пластичности. Исходя из этого для обеспечения эксплуатационных свойств рельсов, предназначенных для магистральных линий и метрополитенов, можно рекомендовать следующий химический состав стали, %: 0,70-0,73 C; 0,80-0,85 Mn; 0,30-0,35 Si; 0,75-0,80 Cr; 0,05-0,08V; 0,012-0,015N.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. F.Kern metal Eisenbahningenieur, 1998. № 8. S.12-16.

УДК 669.184.244.62

Е.В. Протопопов, А.Г. Чернятевич, И.А. Жибинова,
К.М. Шакиров, Л.А. Ганзер
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РЕАКЦИОННОЙ ЗОНЕ КОНВЕРТЕРА ЖИДКОФАЗНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ

В лабораторном конвертере исследовано поведение ванны при различных вариантах продувки металла с жидкофазным восстановлением железо- и марганцевого агломератов. Определены рациональные режимы дутья и присадки восстановителя, оксидных и шлакообразующих материалов. Полученные данные могут быть использованы при отработке дутьевого и шлакового режимов на промышленных конвертерах с реализацией технологии жидкофазного восстановления.

In the laboratory converter the behaviour of a bath has been investigated concerning different variants of a metal blast with liquid reduction iron and manganese sinters. The rational modes of blast and addition restoration, oxide and slagforming materials have been determined. The received data can be used for development of blast and slag modes at industrial converters with realization of liquid restoration technology.

Современное представление о конвертерном способе выплавки стали открывает реальные перспективы решения сложных технологических и экологических задач, связанных с переработкой в агрегате способом жидкофазного восстановления железо и марганецсодержащего сырья, а также различных металлургических отходов [1, 2]. С учетом ведущей роли реакционной зоны взаимодействия кислородных струй с ванной в рафинировании расплава чрезвычайно важно организовать спокойный ход продувки с контролируемым вспениванием шлака и отсутствием выбросов шлакометаллической эмульсии, направленные циркуляционные потоки в ванне для объемного взаимодействия присаживаемых железо- и марганецсодержащих материалов с восстановителем, а также эффективное дожигание отходящих газов в полости конвертера.

С целью изучения гидродинамики процесса в реакционной зоне при продувке металла в конвертере жидкофазного восстановления, исследования механизма образования газошлакометаллической эмульсии и выбросов, а также установления влияния управляющих воздействий на состояние ванны при подаче по ходу операции железо- и марганецсодержащих материалов были проведены эксперименты на 60-кг конвертере. Для верхней кислородной продувки с интенсивностью 2,5-4,0 м³/(т·мин) использовали специальные двухконтурные девяти- и одиннадцатиканальные фурмы, обеспечивающие продувку конвертерной ванны регулируемыми потоками кислорода с возможностью замещения дозвуковых кислородных струй (расход кислорода на второй контур сопел для дожигания 15-25% от общего) на азотные в определенные периоды операции. Основные параметры наконечников двухконтурных кислородных фурм приведены ниже.

	9-ти сопло- вая фурма	11-ти сопло- вая фурма
Число сопел в контуре	3/6*	3/8
Диаметр сопел в контуре, мм	2,0/1,0	2,0/0,5
Угол наклона сопел к вертикальной оси фурмы, град	10/25	7/25
Угол в плане между осями соседних сопел, град	18/24	12/19
Диаметр окружности расположения осей выходных сечений сопел, мм	18/28	14/26

В случае комбинированной продувки кислородом сверху и нейтральным газом через днище азот с расходом 0,1 м³/(т·мин) подавали через три трубчатых сопла (диаметром 0,7 мм), изготовленные из нержавеющей стали и запрессованные в донном огнеупорном блоке. При этом обеспечивалась ориентированная подача струй азота под основания реакционных зон, образованных при внедрении в ванну кислородных струй, истекающих из сопел внутреннего контура верхней фурмы.

При комбинированной продувке кислородом сверху и топливно-кислородными струями через днище три донные фурмы типа "труба в трубе" (диаметр кислородподводящего канала фурмы 0,8 мм, ширина кольцевой щели для подачи природного газа 0,3 мм) располагали в

* Числитель и знаменатель – параметры сопел внутреннего и внешнего контуров

днище по аналогичному варианту. Расход природного газа поддерживали на уровне 10% от удельного расхода кислорода через днище, равного $1,0-1,5 \text{ м}^3/(\text{т} \cdot \text{мин})$.

При проведении исследований высоту двухконтурной фурмы изменяли в пределах 25-200 калибров по отношению к размерам выходного сечения сопла внутреннего контура.

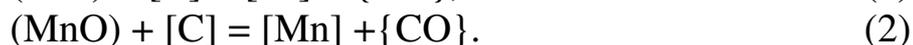
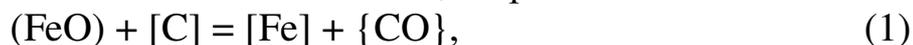
Порядок проведения экспериментов был следующим. Чугун с содержанием 4,3-4,5% С, 0,08-0,56% Мп, 0,48-0,98% Si, 0,030-0,035% S, 0,06-0,20% Р расплавливали в 160-кг индукционной печи, после чего при температуре 1450-1480°C заливали в предварительно разогретый до 1000-1050°C лабораторный конвертер. С началом продувки, после "зажигания" плавки в конвертер присаживали 2,0-2,2 кг извести и 0,5-0,7 кг плавикового шпата и с момента формирования жидкоподвижного вспененного шлака (15-20% времени от начала операции) производили рассредоточенный порционный ввод угля марки АС (0,5-1,4 кг), прокатной окалины (0,5-0,7 кг/т), железистого (0,5-0,8 кг/т) или марганцевого (0,5-1,0 кг/т) агломерата. Гидродинамическая обстановка в рабочем пространстве конвертера при продувке фиксировалась через прозрачную кварцевую стенку и смотровое окно с использованием киносъемки [3,4], при этом дополнительно отбирали пробы металла и шлака с интервалом 1-2 мин с помощью специального пробоотборника. Киносъемкой фиксировали макрофизические явления на поверхности ванны, характер поведения расплава у кварцевой стенки на границе раздела шлак-металл, перемещение последней (H_m) в процессе плавки. Общую высоту ванны (H_b) определяли по длине намороженного на металлический стержень пробоотборника металлошлакового гарнисажа. На протяжении продувки непрерывно контролировали температуру металлического расплава с помощью термопары ПР30/6, установленной в цилиндрической части футеровки и корпуса конвертера.

Установлено, что в условиях присадки материалов для восстановления ход самой плавки и характер поведения ванны при комбинированной продувке отличается в сравнении с ранее установленными закономерностями [3,4]. Прежде всего, это касается характера образования газошлакометаллической эмульсии и управления ее состоянием в ходе продувки. В отличие от верхней [5] и комбинированной [3,4] продувки при наличии в конвертере вспененного жидкоподвижного шлака определенной основности и окисленности шлаковая ванна при реализации рассредоточенной по ходу операции присадки угля - восстановителя и железо-марганецсодержащих материа-

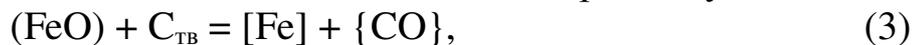
лов представляет собой более сложную гетерофазную систему. Как показывает химический и минералогический анализ, в последней присутствуют наряду с железоуглеродистыми корольками металла окисленные частицы угля, капли науглероженного металла, пузыри CO и H₂, способствующие развитию и протеканию реакций жидкофазного восстановления оксидов железа и марганца с параллельным – значительным образованием и накоплением в шлаке мелких газовых пузырей, что приводит в определенных условиях к неконтролируемому вспениванию шлака и возникновению выбросов.

Вспениванию шлака способствует протекание следующих процессов жидкофазного восстановления:

– восстановление оксидов железа и марганца углеродом корольков металла, выброшенных в шлаковую фазу при взаимодействии кислородных, топливно-кислородных и нейтральных газовых струй с металлической ванной, по реакциям:



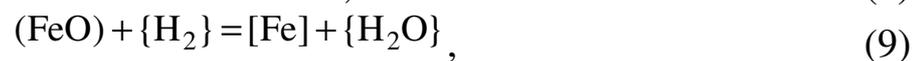
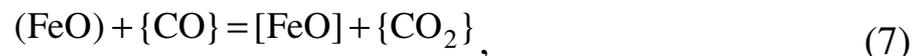
– восстановление оксидов железа и марганца в шлаке при прямом контакте с окисленными твердыми угольными частицами:



– косвенное восстановление оксидов железа на поверхности газовых пузырей, содержащих преимущественно CO и водород:



– косвенное восстановление оксидов железа на поверхности пузырей, содержащих частицы твердого углерода или капли металла, с участием углерода угля или капель металла в регенерации CO₂ и H₂O:



Проведенными экспериментами в отработанном режиме дутья и присадки дополнительных материалов были установлены некоторые закономерности. В отсутствие присадок окислы и угля общий уровень конвертерной ванны (H_в), как и в более ранних исследованиях [3], на протяжении 20-30% времени продувки преимущественно повышался за счет вспенивания шлака, в то время как уровень металли-

ческой ванны (H_M) незначительно превышал исходный уровень металл в спокойном состоянии (H_0), особенно в условиях комбинированной продувки кислородом сверху и нейтральным перемешивающим газом через днище конвертера (рисунок 1).

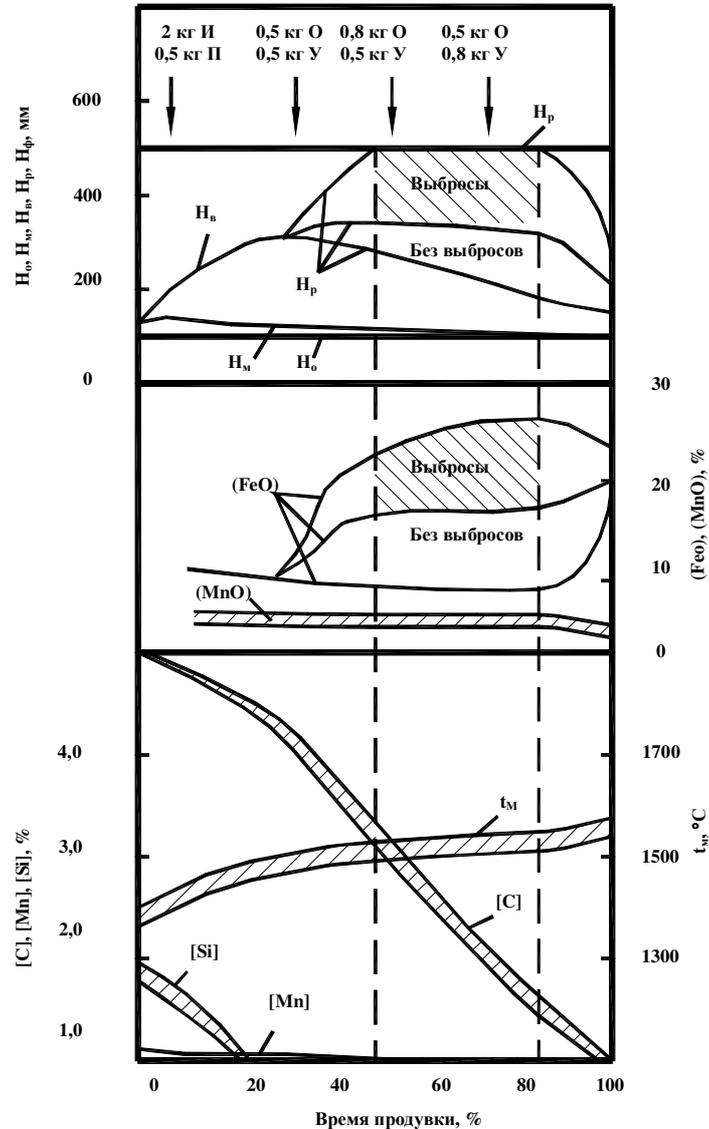


Рисунок 1 – Ход комбинированной продувки (кислород сверху через 9-ти сопловую фурму с распределением по контурам 2,55 и 0,45 м³/т·мин соответственно, азот через днище 0,1 м³/т·мин) низкомарганцовистого чугуна с жидкофазным восстановлением оксидов железа прокатной окалины.

Здесь и на рисунках 2,4,5: Присадки: И – известь; II – плавиковый шпат; У – уголь; О – окалина; М – марганцевый агломерат.

Минимальному уровню вспенивания конвертерной ванны (H_B) соответствовало содержание в среднем 9% и 5% FeO в шлаке соот-

ветственно для режимов комбинированной продувки с подачей через днище азота (рисунок 1) и топливно-кислородных струй (рисунок 2).

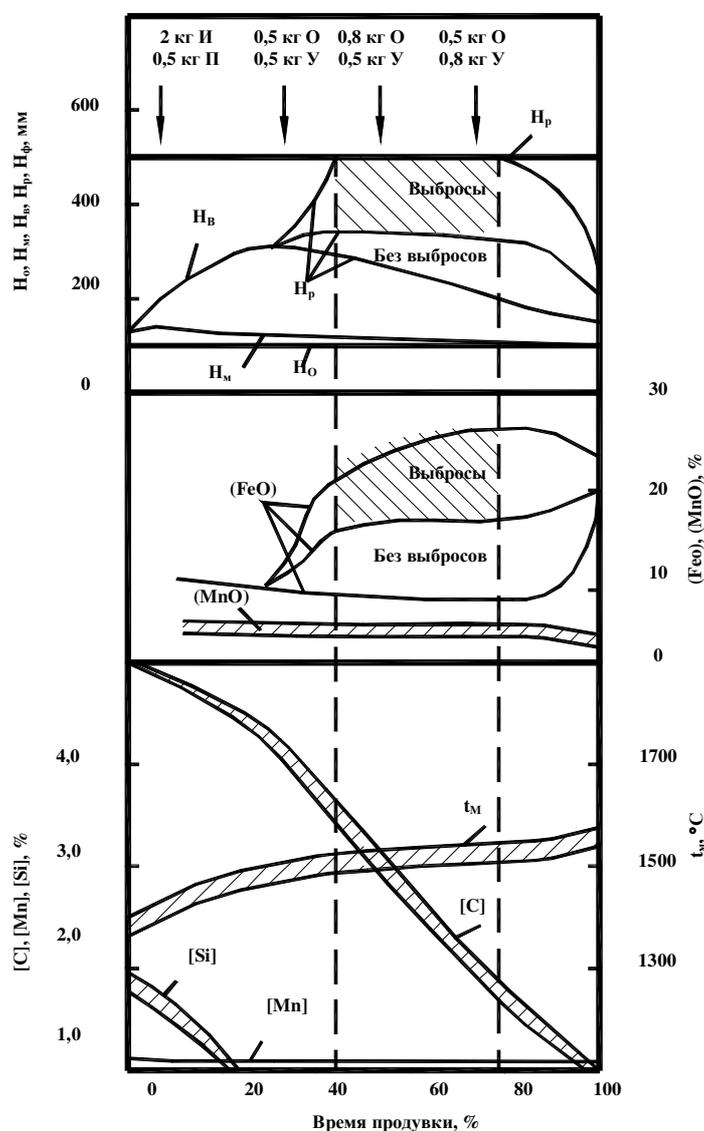


Рисунок 2 – Ход комбинированной продувки (кислородом через 9-ти сопловую фурму с распределением по контуру 2,55 и 0,45 м³/т·мин соответственно, кислород и природный газ снизу с расходом 1,0 и 0,1 м³/т·мин соответственно) низкоуглеродистого чугуна с жидкофазным восстановлением оксидов прокатной окалины.

В случае присадки прокатной окалины и угля (рисунки 1,2) с развитием процессов жидкофазного восстановления оксидов железа образование газошлакометаллической эмульсии интенсифицировалось, особенно с накоплением оксидов железа в шлаке свыше 12%. Заштрихованная область (рисунки 1,2) соответствует установленным предельно допустимым концентрациям FeO в шлаке, когда возникает

неконтролируемое вспенивание шлака с переполнением рабочего пространства конвертера эмульсией и образованием интенсивных выбросов.

Установлено, что совместная присадка оксидных охладителей и угля ведет сначала к осаживанию уровня вспененного шлака с последующим интенсивным развитием вспенивания газошлакометаллической эмульсии (рисунок 3) за счет протекания реакций (1)-(10).

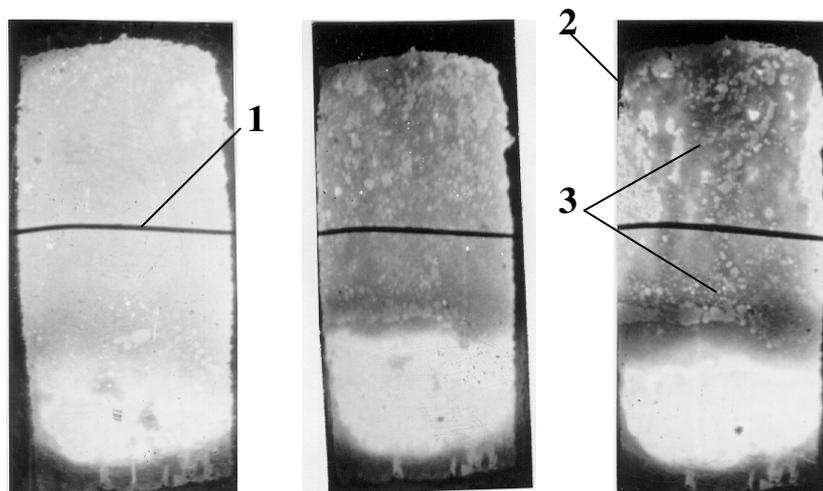


Рисунок 3 – Картина вспенивания шлаковой фазы после присадки оксидных охладителей и угля (0,5 кг окалины и 0,5 кг угля):

1 – уровень металла в спокойном состоянии; 2 – металлическая ванна; 3 – газошлакометаллическая эмульсия. Интервал между кадрами 25 с.

При вариантах комбинированной продувки с жидкофазным восстановлением (рисунки 4,5) оксидов марганца нежелательные явления в ходе операции (чрезмерное вспенивание шлака и возникновение выбросов) менее выражены, что, вероятно, связано с образованием более жидкоподвижного шлака при повышенном содержании в нем оксидов марганца. Подтверждено, что повышение интенсивности донного перемешивания расплава способствует снижению общего уровня конвертерной ванны как при подаче нейтрального газа, так и при комбинированной продувке встречными кислородными потоками. При этом улучшаются условия дожигания отходящих газов в канальном потоке в верхних участках реакционных зон открытого типа с передачей тепла непосредственно газошлакометаллической эмульсии.

Исследование микрошлифов отобранных проб шлака показало, что мелкие корольки металла зачастую находятся в зоне контакта уг-

ля со шлаком, а также у поверхности газовых пузырей. Сравнительно высокая концентрация корольков характерна также для поверхностного слоя шлаковой ванны, что, возможно, является следствием задержки капель всплывающими газовыми пузырями, а также направленным выносом брызг металла из пределов создаваемых реакционных зон.

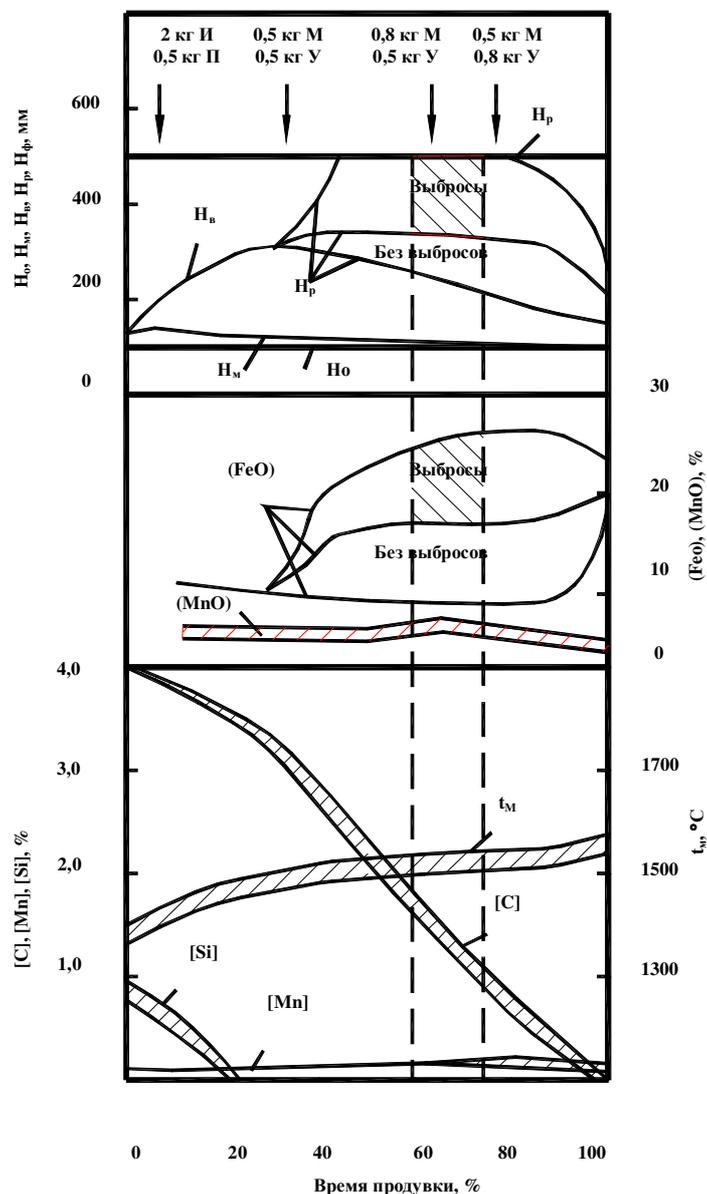


Рисунок 4 – Ход плавки при комбинированной продувке (кислород сверху, азот снизу) низкомарганцовистого чугуна с жидкофазным восстановлением оксидов марганцевого агломерата.

Здесь и на рисунках 1-4: Присадки: И – известь; П – плавиковый шпат; У – уголь; О – окалина; М – марганцевый агломерат.

Из-за малой плотности, плохой смачиваемости, а также наличия пузырей CO на поверхности угольных частиц, последние не прони-

кают в нижние горизонты ванны даже при наличии интенсивного перемешивания шлака, поэтому восстановление железа и марганца твердым углеродом реализуется преимущественно в верхней, наиболее разогретой при дожигании отходящих газов, части вспененного слоя шлакометаллической эмульсии по реакциям (3) и (4).

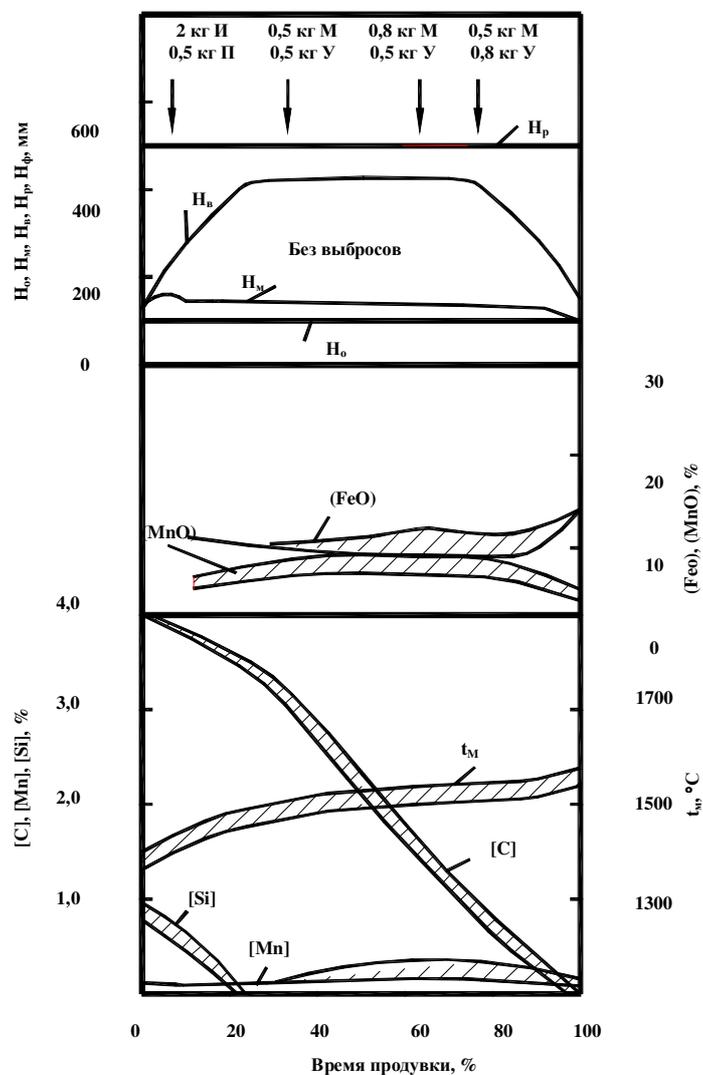


Рисунок 5 – Ход плавки при комбинированной продувке (кислород сверху и снизу) низкомарганцовистого чугуна с жидкофазным восстановлением оксидов марганцевого агломерата. Условия продувки соответствуют рисунку 2.

Весомый вклад в процесс жидкофазного восстановления (по реакциям 1 и 2) вносит углерод корольков металла, выброшенных из реакционной зоны в шлак.

Оценить долю каждого процесса по результатам анализа отобранных проб металла и шлака не представляется возможным. Разделение по фракциям извлеченных из шлаковых проб частиц угля и ко-

рольков металла показало, что размер корольков металла колеблется в пределах 0,4-1,6 мм, а частиц угля 0,4-3,2 мм. При этом содержание углерода в каплях металла снижается с 1,2% до 0,05% по мере уменьшения концентрации углерода в продуваемом чугуна. С точки зрения интенсификации восстановления оксидов железа и марганца, а также предотвращения окисления железа и марганца на окончательной стадии продувки важным фактором является режим присадки угля.

Подтверждено, что присадка угля при передувке ванны ($[C] < 0,20\%$) способствует меньшему переокислению конечного шлака и сохранению на более высоком уровне предварительно восстановленного марганца. В результате проведенных экспериментов удалось получить конечное содержание марганца в металле 0,15-0,20% и 0,35-0,45% при переделе соответственно низкомарганцовистого (0,08% Mn) и обычного (0,56% Mn) чугунов при концентрации углерода в металле 0,06-0,08%. Верхний предел концентрации марганца в металле характерен для режима комбинированной продувки со встречным взаимодействием кислородных и топливно-кислородных струй с одновременным дожиганием отходящих газов дополнительным кислородом, подаваемым через сопла внешнего контура двухконтурной фурмы.

Установлено, что последняя присадка марганцевого агломерата должна завершаться в период 80-85% времени от начала продувки до наступления периода повторного окисления марганца при передувке ванны. Следует отметить, что использование двухконтурных фурм и предложенных режимов продувки с дожиганием отходящих газов в пределах специально создаваемых реакционных зон открытого типа способствовало нормальному температурному ходу конвертерной плавки (рисунки 1-4) с получением температуры металла на уровне 1600-1620°C по окончании операции с учетом компенсации тепловых затрат на проведение реакций жидкофазного восстановления оксидов железа и марганца.

В лабораторном конвертере исследовано поведение ванны при различных вариантах продувки металла с жидкофазным восстановлением железо- и марганцевого агломератов. Определены рациональные режимы дутья и присадки восстановителя, оксидных и шлакообразующих материалов. Полученные данные могут быть использованы при отработке дутьевого и шлакового режимов на промышленных конвертерах с реализацией технологии жидкофазного восстановления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г., Лаврик Д.А., Мастеровенко Е.Л. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2002. №6. С. 4-11.
2. Жибинова И.А., Шакиров К.М., Протопопов Е.В. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2004. №8. С. 11-13.
3. Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г., Юдин С.В. // Изв. вузов. Черная металлургия. 1998. №8. С. 23-29.
4. Чернятевич А.Г., Бродский А.С., Пантейков С.П. // Изв. вузов. Черная металлургия. 1997. №12. С. 27-30.
5. Чернятевич А.Г., Зарвин Е.Я., Борисов Ю.М. и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. 1976. №10. С. 54-59.

УДК 669.162.12: 622.341

В.А. Долинский, А.А. Пермяков
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКООСНОВНОГО МАГНЕЗИАЛЬНОГО АГЛОМЕРАТА

Проплавка магнезиального агломерата, полученного из шихты с участием тейского концентрата, в условиях Новокузнецкого металлургического комбината (НКМК) усложнила управление ходом и тепловым состоянием доменных печей, что объясняется особенностями минерального состава агломерата. При введении в доменную шихту агломерата основностью 4,3 (железофлюса) наблюдалось значительное улучшение шлакового режима, ход печи становился ровнее, и улучшалось качество чугуна. Однако, при производстве железофлюса ухудшались условия работы обслуживающего персонала, а агломерат приваривлся к колосникам палет вследствие образования большого количества расплава. Цель работы: установить возможность замены железофлюса агломератом меньшей основности, который имел бы минеральный состав которого обладал бы металлургическими свойствами., присущие агломерату основностью 4,3.

Agglomerate sintering got from magnesia charge in Novokuznetsk metallurgical plant had complicated the management process and thermal state of the blast furnaces. This is explained by the features of agglomerate mineral compositions. The slag mode and the quality of cast-iron got better when introducing of the agglomerate charge (basicity 4,3) into the blast furnace. The conditions of the auxiliary personnel had got worse when producing of this agglomerate. The purpose of this work: to produce the agglomerate of less basicity, don't changing its metallurgical properties.

В работе [1] было отмечено, что проплавка магнезиального агломерата, полученного из шихты с участием тейского концентрата в условиях Новокузнецкого металлургического комбината (НкМК), значительно усложнила управление ходом и тепловым состоянием доменных печей. Как показали исследования, ухудшение работы печей объясняется особенностями минерального состава агломерата.

Установлено, что в агломерате из тейского концентрата практически отсутствуют силикатные соединения магнезии типа форстерита (Mg_2SiO_4), монтичеллита ($CaMgSiO_4$), клиноэнстатита ($MgSiO_3$), диопсида ($CaMgSi_2O_6$), окерманита ($Ca_2MgSi_2O_7$) и др. Исследование показало, что магнезия находится в основном в виде шпинели ($MgAl_2O_4$), кристаллы которой эндотаксиально вырастают в зерна магнетита реже магнезиовюстита ($(Mg,Fe)O$) и магнезиоферрита ($MgFe_2O_4$). Все эти минералы, содержащие магнезию, являются тугоплавкими, а два последних трудновосстановимыми [2].

ЦКЛК, доменным цехом, Абагурской обогатительно-агломерационной фабрикой КМК (НкМК) и кафедрой металлургии чугуна и геологии СМИ (СибГИУ) были приняты меры по изысканию путей улучшения шлакового режима доменной плавки. С этой целью был произведен и проплавлен в доменной печи агломерат основностью (CaO/SiO_2) 1,8 и 4,3. При добавке к доменной шихте агломерата основностью 1,8 ход печи был по-прежнему неровным. При введении же в шихту агломерата основностью 4,3 (железофлюса) наблюдалось значительное улучшение шлакового режима, ход печи становился ровнее и улучшалось качество чугуна [3, 4]. Однако при производстве агломерата основностью 4,3 резко ухудшались санитарно-гигиенические условия работы обслуживающего персонала и происходило приваривание агломерата к колосникам палет вследствие образования большого количества жидкой фазы.

Целью данной работы является установление возможности замены агломерата основностью 4,3 агломератом меньшей основности (но более 1,8), который имел бы минеральный состав, присущий агломерату основностью 4,3, и обладал бы удовлетворительными металлургическими свойствами. Для этого нами в лабораторных условиях был произведен магнезиальный агломерат основностью 2,5; 3,0 и 3,5.

Агломерационная шихта состояла из 85 % тейского концентрата (< 1 мм), 9 % коршуновского концентрата (< 1 мм) и 6 % смеси самарской руды (< 8 мм) с колошниковой пылью. Топливом при агломерации служила мелочь кузнецкого кокса крупностью 0 – 3 мм, содержащая 85,9 % $C_{общ}$, 12,4 % золы, 0,4 % S. Для офлюсования агломерата применяли известняк (21,80 - 28,64 % в шихте без топлива) крупностью 0 – 3 мм, содержащий (%) 54,34 CaO, 0,70 MgO, 0,56 SiO_2 , 0,77 Al_2O_3 , 0,034 P_2O_5 и 42,71 п.п.п.

Во всех опытах агломерации шихту подогревали в специальном устройстве электрическим током промышленной частоты. Темпера-

тура шихты перед спеканием составляла 65 - 70 °С, высота слоя 200 мм.

Химический состав исследованного агломерата приведен ниже:

Содержание, %

Агломерат	Fe _{общ}	Fe _{мет}	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S _{общ.}	C
А 2,5	49,26	0,45	9,12	6,04	1,30	14,81	5,41	0,36	н.о	0,006	–
А 3,0	47,31	0,49	9,33	6,11	1,44	17,82	5,41	0,43	0,11	0,006	0,11
А 3,5	45,92	0,54	9,84	6,17	3,02	21,06	4,93	0,41	0,11	0,015	0,08

Минеральный состав агломерата определяли на оптическом и электронном микроскопах, а также рентгеновским и термографическим методами. Особенностью агломерата А 2,5 является повышенное содержание ферритов кальция (22,2 объемн. %). Они представлены полу- и однокальциевыми ферритами. В агломерате содержится около 50 объемн. % магнетита, который образует идиоморфные и массивно-скелетные кристаллы с пойкилитовыми включениями ферритов кальция. Поверхность первичных рудных магнетитовых кристаллов и зерен корродирована в процессе замещения их ферритами кальция (рисунок 1).



Рисунок 1 – Реликтовый корродированный магнетит (белое) обрастает удлиненными кристаллами ферритов кальция (серое).

Отраженный свет. $\times 600$

Новообразованный кальциомагнетит преимущественно образует кружевные скелетные кристаллы (рисунок 2). Шпинель встречается лишь в единичных зернах. Агломерат обычно хорошо спеченный,

мелко - и среднепористый, в отдельных участках плотный, однороден по текстуре и структуре. Характерной особенностью агломерата является наличие большого количества (30 объемн. %) эвтектических структур. Силикатная фаза представлена железистым монтичеллитом $\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})\text{SiO}_4$, киршштайнитом CaFeSiO_4 и стеклом. В результате хорошей проработки шихтового материала в агломерате отсутствует свободная известь.

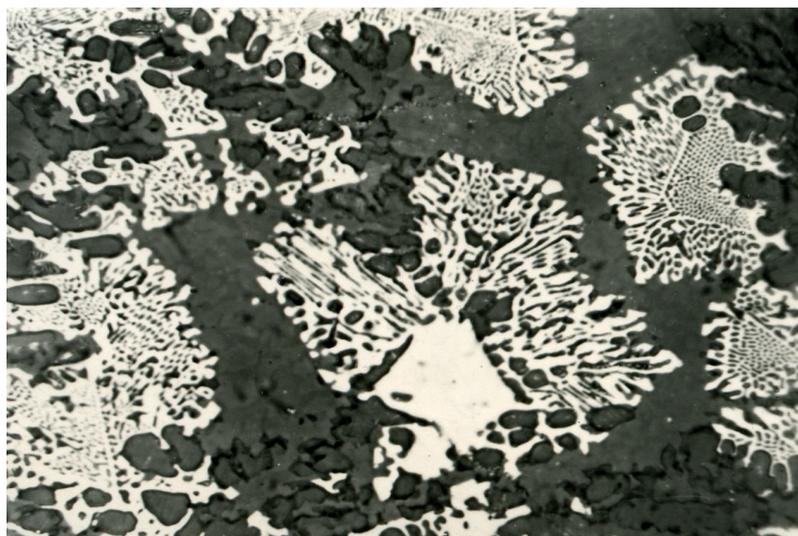


Рисунок 2 – Кружевные скелетные кристаллы кальциомагнетита.
Отраженный свет. $\times 600$

В агломерате А 3,0 происходит уменьшение содержания магнетита до 45,7 объемн. % и увеличение содержания ферритов кальция до 30,3 объемн. %. Снижение содержания силикатной фазы по сравнению с агломератом А 2,5 происходит за счет уменьшения ее железистости и появления большого количества ларнита. Ферриты кальция по-прежнему представлены полу- и однокальциевыми с примесью двухкальциевого. Характерно равномерное распределение силикатов по объему агломерата. Другой особенностью агломерата является повышенное содержание эвтектических структур (25-30 объемн. %). Шпинель отсутствует.

В агломерате А 3,5 происходят уменьшение содержания ферритов кальция в результате замены полукальциевого феррита двукальциевым и браунмиллеритом. Таким образом, в агломерате содержатся только одно - и двукальциевый ферриты (рисунок 3). На рисунке в кристаллах однокальциевого феррита видны белые изометричные покилитовые включения магнетита с различной отражательной способностью, что указывает на разное содержание в них изоморфной при-

меси кальция. Содержание магнетита фактически такое же, как в агломерате А 3,0. Однако магнетит агломерата А 3,5 более известковистый, чем в агломерате А 3,0.

Силикаты представлены преимущественно ларнитом (рисунок 4), мервинитом, мелилитом, монтichelлитом и стеклом. Пироксены отсутствуют. В агломерате повсеместно развиты эвтектические структуры, содержание которых составляет около 30 – 50 объемн. %.

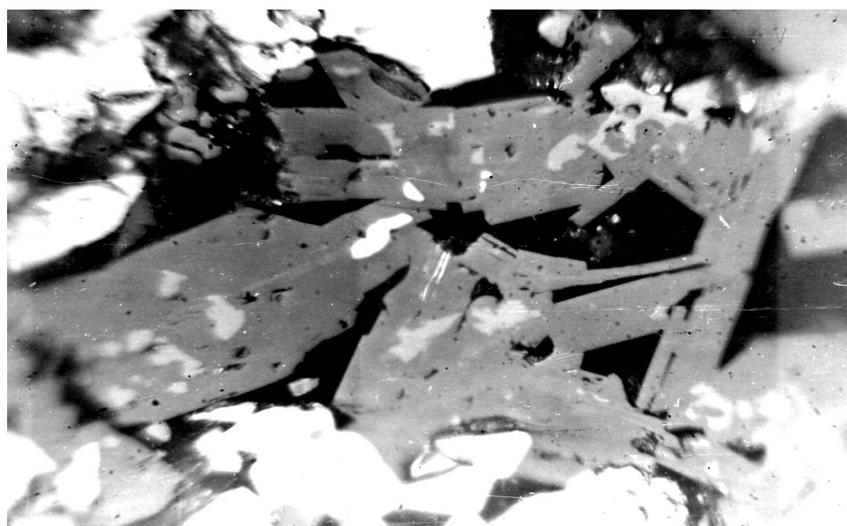


Рисунок 3 – Однокальциевый (серый) и полукальциевый (светло-серый) ферриты содержат пойкилитовые включения реликтового магнетита (серовато-белые) в сростании с новообразованным магнетитом (белое).

Отраженный свет. $\times 600$

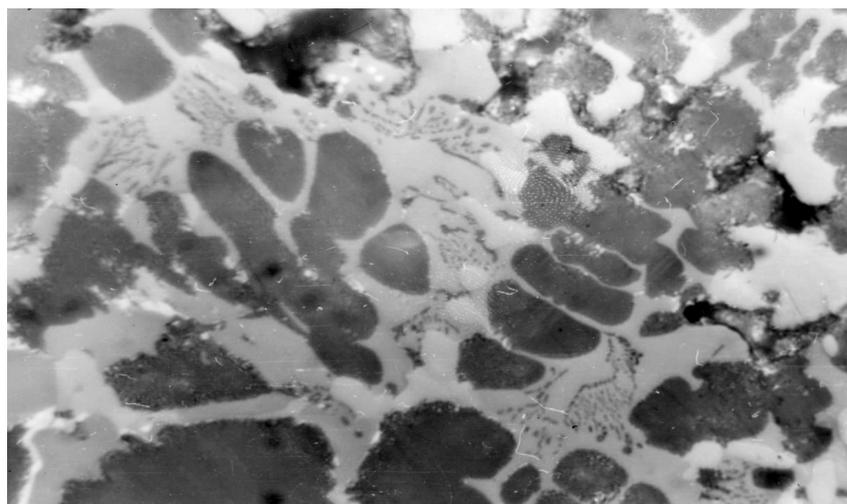


Рисунок 4 – Ларнит (глобулярные темные кристаллы) центрируется эвтектически сросшимися агрегатами кальциомагнетита и ферритов кальция (светлое).

Отраженный свет. $\times 600$

Температуру начала $t_{н.р.}$ и конца $t_{к.р.}$ размягчения агломерата фракции 1 - 3 мм определяли при нагреве его в криптоловой печи до 800 °С со скоростью 8 - 10 °С/мин и выше 800 °С – со скоростью 4-5 °С/мин. Пробы помещали в магнезитовый тигель. За температуру начала размягчения принимали температуру, соответствующую 40 %-ной усадке материала в тигле [5]. С целью уменьшения влияния эффектов прочих факторов, которые включают в себя и ошибки измерения выходных величин, а также повышения достоверности данных производили дублирование опытов по определению температур размягчения.

Усредненные по трем опытам результаты по размягчению магнезального агломерата различной основности приведены ниже:

Агломерат	Содержание, %			$t_{н.р.}, ^\circ\text{C}$	$t_{к.р.}, ^\circ\text{C}$	Интервал размягчения, °С
	Fe _{общ}	Fe _{мет}	FeO			
А 2,5	49,90	1,14	33,50	1000	1270	270
А 3,0	47,98	1,12	33,77	970	1260	290
А 3,5	46,96	0,96	29,34	960	1245	285

Из приведенных данных видно, что температуры начала и конца размягчения с увеличением основности агломерата понижаются. Такой характер зависимости объясняется минеральным составом агломерата:

Агломерат	Содержание, %				
	Магнетит	Ферриты кальция	Магнезиовюстит	Кристаллич. силикаты	Стекло
А 2,5	50,7	25,1	-	21,8	1,2
А 3,0	45,9	31,0	-	21,8	1,2
А 3,5	43,7	31,0	-	24,49	0,3
А 4,3	37,2	36,3	0,5	21,2	4,8

Знак «—» свидетельствует о том, что данный минерал кристалло-оптическими методами не обнаружен; * - изоморфная смесь извести и магнезиовюстита (Fe,Mg,Ca)_{1-x}O.

С ростом основности агломерата в магнетите увеличивается содержание изоморфной примеси кальция и катионных вакансий [6], которые повышают химическую активность магнетита и понижают его температуру плавления. При основности агломерата 2,5 и 3,0 в магнетите, кроме изоморфной примеси кальция, появляются эндотаксиальные и пойкилитовые включения однокальциевого феррита и

киршштайнита, количество которых в дальнейшем пропорционально увеличению основности агломерата. Наряду с максимальным количеством катионных вакансий в структуре магнетита появляются краевые и винтовые дислокации. Их количество возрастает с повышением основности и достигает максимума в агломерате А 4,3.

В агломерате А 2,5 содержание эвтектических структур составляет около 45 %, в агломерате А 3,0 - 53 % и в агломерате А 3,5 – 56 %. Наиболее легкоплавкие эвтектики установлены в агломерате А 2,5 ($t_{пл} = 1194$ °С). В агломерате А 3,0 примерно половина эвтектических структур имеет температуру плавления около 1194 °С, а остальная часть 1212 °С.

В агломерате А 3,5 преобладают эвтектические структуры с предполагаемой температурой плавления 1212 °С. Наличие легкоплавких эвтектических структур в агломератах А 2,5; А 3,0 и А 3,5 приводит к существенному снижению температур начала и конца размягчения по сравнению с агломератами основностью 1,0 и 1,4 [5].

Восстановление агломерата проводили в токе водорода при температуре 850 °С в течение 5 – 60 мин. Расход водорода на восстановление составлял 2 л/мин.

Было установлено, что несколько лучшей восстановимостью обладает агломерат А 2,5 и А 3,0. Объясняется это тем, что в структуре этих агломератов преобладает полу- и однокальциевый феррит, имеющий самую высокую (кроме гематита, [7]) восстановимость. В структуре агломерата А 3,5 появляется двухкальциевый феррит, являющийся более трудновосстановимым, чем однокальциевый. Этим обусловлена главным образом несколько меньшая восстановимость агломерата А 3,5.

Механическую прочность агломерата определяли по методике, в основу которой положен принцип определения ее для малых количеств агломерата [8]. Механическая прочность исходного агломерата возрастает с увеличением основности от 2,5 до 3,5.

Зависимость механической прочности агломерата от степени восстановления носит экстремальный характер. Минимум прочности агломерата получается при степени восстановления 20 - 40 %. Это объясняется следующим. В процессе восстановления магнетит частично теряет кислород и в его структуре образуется избыток (по отношению к стехиометрическому) ионов Fe^{2+} . Такая дефектная структура типа шпинели оказывается рыхлой и склонной к перестройке в структуру типа NaCl, характерную для вюстита. Так как в агломерате А 2,5 содержится больше магнетита, чем в агломерате А 3,0 и А 3,5,

то, естественно, в нем должны происходить в большом масштабе описанные превращения. Кроме того, снижение прочности агломерата обусловлено разложением полу - и однокальциевого ферритов, которые в восстановленных условиях оказываются менее устойчивыми, чем двукальциевый феррит. Так как в агломерате А 2,5 и А 3,0 содержится больше полу - и однокальциевого ферритов, то указанные агломераты оказываются менее прочными, чем агломерат А 3,5.

Повышение прочности агломерата при степени восстановления выше 40 % объясняется отсутствием превращений, которые имеют место при меньших степенях восстановления, а также увеличением содержания металлического железа, которое в этом случае является каркасом.

Силикатная фаза при восстановлении почти не оказывает влияния на прочность агломерата, так как в ней не происходит минеральных превращений. Двукальциевый силикат, стабилизированный изоморфной примесью магнезия, также не склонен к полиморфному превращению.

Таким образом, в результате проведенного исследования установили, что агломераты А 2,5 и А 3,0 имеют минеральный состав, присущий агломерату повышенной основности (3,7 – 4,3), т.е. этот агломерат является легкоплавким из - за присутствия в нем эвтектических структур и может применяться в доменной шихте для улучшения шлакового режима при использовании магнезиального агломерата обычной основности. Кроме того, этот агломерат обладает удовлетворительными металлургическими свойствами [9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Долинский В.А. Особенности минерального состава агломерата различной основности из тейского концентрата, содержащего магнезию в рудных минералах, и поведение его в доменной печи/ В.А. Долинский, А.А. Пермяков // Металлургия России на рубеже XXI века: сб. научн. тр. Международной научно – практической конференции. – Новокузнецк: СибГИУ, 2005. – Т.1. – С.18 – 26.
2. Кудояров М.С. Работа доменных печей на магнезиально-глиноземистых шлаках при проплавке агломерата из концентрата руд тейского месторождения/ М.С. Кудояров [и др.] // Сталь. – 1969. – № 5. – С. 393 – 397.

3. Минеральный состав, температура размягчения магнезиального агломерата различной основности и поведения его в доменной печи/ М.С. Быков [и др.] // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1971. – № 4. – С. 40 – 43.

4. Использование железофлюса в шихте доменных печей/ М.С. Кудояров [и др.]. // Бюл. НТИ ЧМ. – 1972. – № 21. – С. 31 - 34.

5. Долинский В.А. Температура размягчения магнезиального агломерата/ В.А. Долинский, М.С. Быков, А.А. Пермяков // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1984. – № 12. – С. 30 – 34.

6. Пермяков А.А. Типоморфные особенности кальциомагнетита как индикаторы качества железнорудного агломерата/ Пермяков А.А. [и др.] // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1983. – № 2. – С. 24 – 28.

7. Киссин Д.А. Механизм минералообразования при спекании офлюсованного агломерата/ Д.А. Киссин, Т.И. Литвинова // Сталь. – 1960. – № 5. – С. 397 – 403.

8. Гольдштейн Н.Л. Металлургические свойства окатышей ССГОК и магнитогорских агломератов/ Н.Л. Гольдштейн, М.А. Шерстобитов // Металлург. – 1967. – № 10. – С. 6 – 8.

9. Долинский В.А. Механическая прочность магнезиального агломерата/ В.А. Долинский, А.А. Пермяков, М.С. Быков // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1988. – № 12. – С. 20 – 25.

УДК 621.746

В.Б. Деев

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

МОДИФИЦИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ БАРИЕМ

В статье рассмотрено влияние добавок бария на механические свойства сплава АК7ч. Показано, что модифицирование барием позволяет получить повышенные механические свойства, которые сохраняют свой уровень после коррозионностойких испытаний. Эффект модифицирования усиливается проведением термовременной обработки расплава.

Influence of different methods of melt treatment on mechanical properties of aluminium alloy "AK7ч" was investigated. The best effect is given by joint action of temperature-time treatment of melt and using of increased quantity of low-grade stock were shown.

В настоящее время для модифицирования алюминиевых сплавов применяют самые разнообразные модификаторы, различающиеся как по степени влияния на структуру сплава, так и по способу ввода их в расплав. Определенную перспективу в качестве модификатора для алюминиевых сплавов представляет барий. Так, в работах [1, 2] показано, что барий оказывает положительное влияние на механические свойства и коррозионную стойкость силуминов.

В данной статье исследовали влияние добавок бария на механические свойства сплава АК7ч до и после коррозионностойких испытаний. Исследовали также и влияние на механические свойства сплава АК7ч комплексной обработки расплава высокотемпературным перегревом и добавками бария. Барий вводили после расплавления всей массы шихты в виде лигатуры «силикобарий», содержащей (по массе): 50 % Si, 35 % Ba, 15 % Fe. Все плавки осуществляли в печи сопротивления. Содержание вторичных материалов состава АК7ч (лом, отходы, возврат) в шихте во всех плавках составляло 75...85 %. Расплавы перед заливкой обрабатывали препаратом «Дегазер» в количестве 0,6 %, который вводили с помощью «колокольчика». После рафинирования выдерживали расплав до окончания реакции, затем уда-

ляли шлак. Температура заливки во всех вариантах обработки составляла 730...740 °С. Высокотемпературный перегрев (или, по общепринятой терминологии – термовременную обработку), осуществляли по следующей программе [3]: нагрев расплава до температуры 1000 °С, изотермическая выдержка при этой температуре составляла 12...15 мин. Расплавы, технология обработки которых включала ТВО, охлаждали до температуры модифицирования (750...760 °С) добавками в расплав кокильного возврата сплава АК7ч; после чего вводили силикобарий и выдерживали около 10...15 мин.; затем расплав обрабатывали «Дегазером» по вышеприведенной схеме. Склонность сплава к коррозии определяли по потере механических свойств, которые до и после коррозионностойких испытаний определяли на стандартных образцах согласно ГОСТ 1583-93. Образцы перед механическими испытаниями подвергали обработке по режиму Т5. Коррозионностойкие испытания образцов проводили в течение трех месяцев в 3 % растворе NaCl + 0,1 % H₂O. Полученные экспериментальные данные приведены в таблице 1.

Если сравнить механические свойства образцов полученного без модифицирования и перегрева сплава до и после коррозионностойких испытаний с механическими свойствами образцов из сплава, модифицированного барием, то видно, что добавки бария в количестве 0,05...0,15 % повышают уровень временного сопротивления разрыву и относительного удлинения образцов. Потери механических свойств в результате коррозии существенно уменьшаются по мере увеличения содержания бария в сплаве. Самые лучшие результаты показали образцы, содержащие 0,15 % силикобария. Проведение ТВО расплава еще больше усиливает положительное влияние бария.

Повышение механических свойств сплава АК7ч как до, так и после коррозионных испытаний объясняется более совершенной микроструктурой, что было подтверждено металлографическими исследованиями. Это связано с тем, что барий измельчает кремний в эвтектике, а ТВО – в значительной степени влияет на измельчение размера зерна.

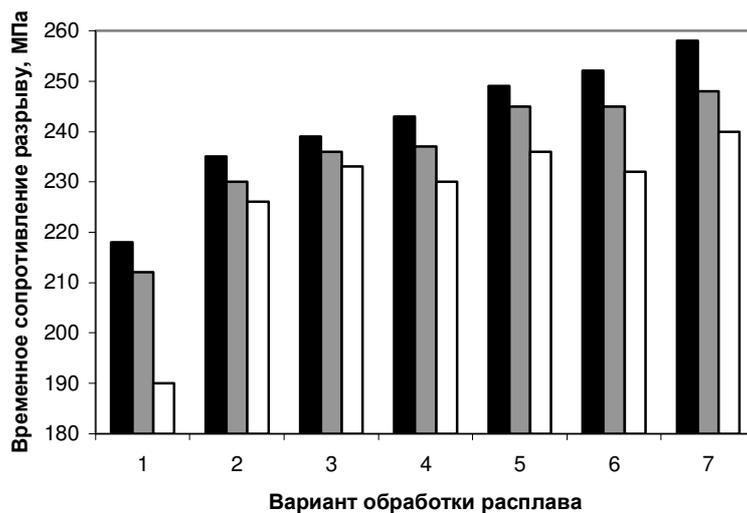
Железо, вносимое в расплав силикобарием, не оказывает существенного негативного влияния на механические свойства сплава АК7ч, а наоборот, способствует повышению коррозионной стойкости сплава. Согласно [3], это следует из того, что железо (а также марганец, хром, титан) образуют в алюминиевых сплавах соединения AlFeSiMn, Al₆Mn, CrAl₇, имеющие электродный потенциал, равный или близкий к электродному потенциалу алюминия. В результате общий электрод-

ный потенциал алюминия становится менее отрицательным вследствие смещения его в положительную сторону.

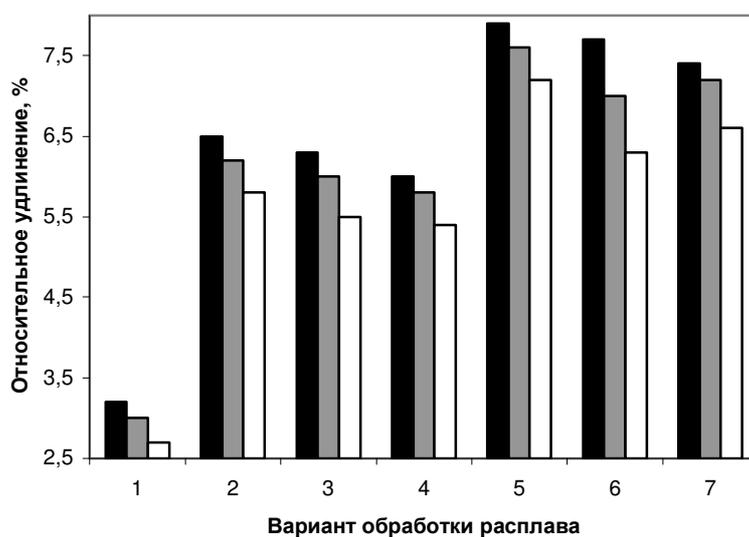
Таблица 1 – Результаты исследований

Технология обработки расплава	До коррозионностойких испытаний		После коррозионностойких испытаний		Потери в результате коррозии, %	
	σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %	σ_B , МПа	δ , %
Исходный сплав	208	3,2	192	1,7	7,5	48,4
0,5 % «Дегазера»	216	3,8	202	2,2	7,2	42,3
0,8 % «Дегазера»	221	4,6	207	2,7	6,4	41,8
ТВО (нагрев до температуры 1000 °С, выдержка 12...15 мин) и 0,5 % «Дегазера»	223	4,9	211	3,1	5,2	36,4
ТВО (нагрев до температуры 1000 °С, выдержка 12...15 мин) и 0,8 % «Дегазера»	229	5,3	218	3,4	5,0	34,8
0,1 % $MnCl_2$	214	4,4	202	2,6	5,7	38,6
0,2 % $MnCl_2$	220	4,7	208	3,0	5,6	36,1
ТВО (нагрев до температуры 1000 °С, выдержка 10...13 мин) и 0,1 % $MnCl_2$	224	5,2	212	3,3	5,3	35,9
ТВО (нагрев до температуры 1000 °С, выдержка 10...13 мин) и 0,2 % $MnCl_2$	227	5,1	214	3,4	5,4	34,7
0,6 % флюса «МХЗ»	220	5,0	208	3,6	5,1	28,5
0,8 % флюса «МХЗ»	225	4,7	217	3,5	5,5	24,3
ТВО (нагрев до температуры 1000 °С, выдержка 12...15 мин) и 0,6 % флюса «МХЗ»	234	5,8	224	4,4	4,9	23,7
ТВО (нагрев до температуры 1000 °С, выдержка 12...15 мин) и 0,8 % флюса «МХЗ»	242	5,6	230	4,1	5,2	25,8

Кроме того, было исследовано наследственное влияние ТВО и добавок бария на механические свойства сплава АК7ч после переплава и плавки по обычной технологии, включающей рафинирование хлористым марганцем или «Дегазером». Механические свойства сплавов, модифицированных силикобарием и подвергнутых ТВО, приведены на рисунке 1.



а



б

- – Без модифицирования и перегрева
- – 1 переплав
- – 2 переплав

Варианты обработки расплава:

1 – без модифицирования и перегрева; 2 – 0,05 % силикобария; 3 – 0,1 % силикобария; 4 – 0,15 % силикобария; 5 – ТВО + 0,05 % силикобария; 6 – ТВО + 0,1 % силикобария; 7 – ТВО + 0,15 % силикобария

Рисунок 1 – Механические свойства образцов из сплава АК7ч после различных вариантов обработки расплава и переплавов: а – временное сопротивление разрыву; б – относительное удлинение

Результаты, показанные на рисунке 1, подтверждают данные, полученные в работе [4]. Модифицирующее влияние бария проявляется после двух переплавов. Механические свойства сохраняют свой уровень. Наследственное влияние совместной обработки расплавов барием и ТВО также сохраняется после двух переплавов.

Таким образом, установлено, что модифицирование сплава АК7ч барием повышает механические свойства сплавов, которые сохраняют высокий уровень и после коррозионностойких испытаний. Эффект положительного влияния бария усиливается термовременной обработкой расплава. Данная технология комплексной обработки позволяет использовать повышенное количество вторичных материалов в шихте – до 75...85 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаров Х.М., Вахобов А.В., Ганиев И.Н. Барий и его сплавы. – Душанбе: Дониш, 2000. – 192 с.
2. Каргаполова Т.Б., Махмадуллоев Х.А., Ганиев И.Н., Хакдодов М.М. Барий – новый модификатор силуминов // Литейное производство. 2001. № 10. С. 9, 10.
3. Селянин И.Ф., Деев В.Б., Войтков А.П., Башмакова Н.В. Рафинирование расплавов при использовании низкосортной шихты // Литейщик России. 2006. № 2. С. 18–20.
4. Ершов Г.С., Бычков Ю.Б. Высокопрочные алюминиевые сплавы на основе вторичного сырья. – М.: Metallurgia, 1979. – 192 с.

УДК [669.017: 539.52] : 620.162.3.

В.Г. Кондратьев, Н.В. Котова, А.А. Смородин, Кутукова Ю.В.
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОВОЛОЧНЫХ СТАЛЕЙ 08Г2С, 18Г2С, 25Г2С В ПРОЦЕССЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДОВ ПОЛУЧЕНИЕМ ПРОВОЛОКИ ДИАМЕТРОМ 2 ММ.

Значительную часть готовой продукции Западно-Сибирского металлургического комбината составляет проволока. Особым спросом у потребителя пользуется проволока, выполненная из сталей, легированных кремнием и марганцем.

The object of the work: 08Г2С, 18Г2С, 25Г2С wire steel mechanical description modifying determination in the process of technological changes of 2 mm wire producing.

Технология производства проволоки диаметром 2 мм из этих сталей является сложным процессом и состоит из следующих этапов:

1. получение горячекатаной заготовки на стане «250» диаметром 6,5 мм;
2. волочение проволоки с диаметра 6,5 мм до 3,5 мм в холодном состоянии;
3. отжиг полученной заготовки диаметром 3,5 мм в проходной печи при температуре 680°С;
4. волочение проволоки с диаметра 3,5 мм до 2 мм.

Для оптимизации энергосиловых параметров процессов следует определить механические характеристики проката после стана «250» (диаметр образца 6,5 мм), после волочения с диаметра 6,5 мм до 3,5 мм, после волочения с диаметра 3,5 мм до 2 мм.

Для выполнения поставленной задачи следует определить пределы текучести и прочности для образцов после каждого передела.

Испытание проводилось в лаборатории механических испытаний Западно-Сибирского металлургического комбината.

Растяжению подвергались образцы диаметрами 6,5 мм, 3,5 мм, 2 мм из сталей 08Г2С, 18Г2С, 25Г2С на испытательной машине EDC.

Диаграммы растяжения этих не имеют площадки текучести, поэтому предел текучести определен как $\sigma_{0,2}$.

Полученные экспериментальные данные по изменению механических характеристик в процессе технологического передела проката 6,5 мм до проволоки 2 мм занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Зависимость прочностных характеристик проволочной стали от вида передела

Сталь	Название передела	Диам., мм	Нагрузка при пределе текучести, Н	Нагрузка при пределе прочности, Н	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа
08Г2С	Прокатка на стане «250»	6,5	12290	20600	368	670
08Г2С	Волочение с 6,5 мм до 3,5 мм	3,5	5720	6840	595	850
08Г2С	Отжиг	3,5	3950	4750	411	690
08Г2С	Волочение с 3,5 мм до 2 мм	2,0	2600	3200	878	920

Анализ полученных данных показал, что наиболее низкий предел текучести имеет сталь 08Г2С после горячей прокатки на стане «250» (368МПа). Предел прочности при этом составляет 670МПа.

При волочении в холодном состоянии заготовки с диаметром 6,5 мм до диаметра 3,5 мм предел текучести возрастает до 595МПа. Предел прочности возрастает с 670МПа до 850МПа.

После отжига предел текучести понизился с 595МПа до 411МПа.

Последний передел (волочение проволоки с диаметра 3,5 мм до 2 мм) дает повышение предела текучести с 411МПа до 878МПа и предела прочности с 690МПа до 920МПа.

По табличным данным построен график (рисунок 1). Из него видно, что с уменьшением диаметра проката с 6,5 до 2 мм возрастают и предел прочности, и предел текучести, за исключением случая, когда проволока подвергалась отжигу.

Для изучения влияния количества углерода в проволочных сталях на энергосиловые параметры процесса были взяты стали с одинаковым количеством легирующих элементов и разным содержанием углерода: 08Г2С, 18Г2С, 25Г2С.

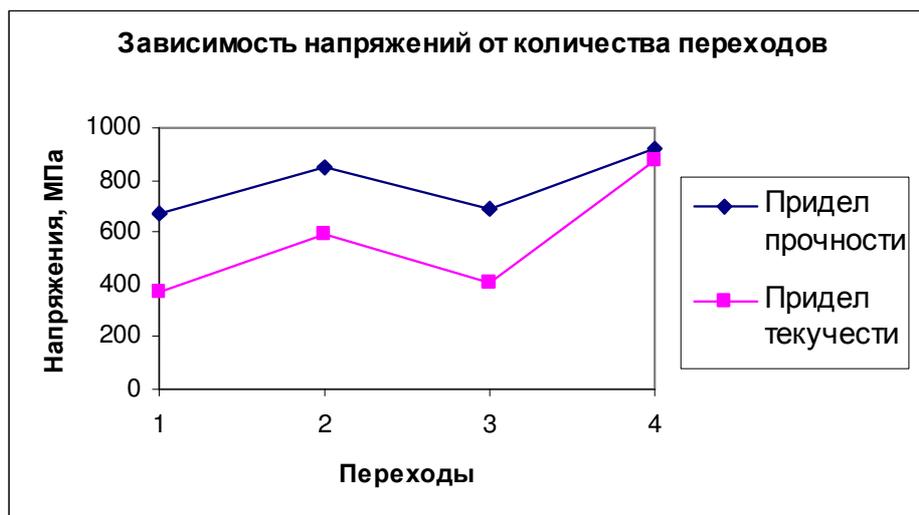


Рисунок 1 – Зависимость напряжений от номера передела

Испытания проводились только на образцах диаметром 6,5 мм, полученных после горячей прокатки на стане «250». Данные занесены в таблицу 2, по ним построен график (рисунок 2). Из них видно, что с увеличением содержания углерода с 0,08 % до 0,25 % значительно возрастают предел текучести и предел прочности.

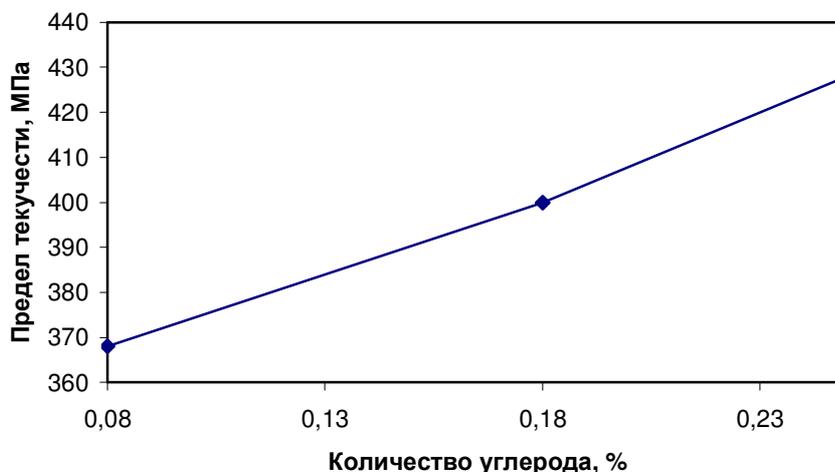


Рисунок 2 – Зависимость предела текучести от количества углерода

Таблица 2 – Зависимость пределов текучести и прочности содержания углерода

Сталь	Диаметр, мм	Нагрузка при пределе текучести, Н	Нагрузка при пределе прочности, Н	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа
08Г2С	6,5	12290	20600	368	670
18Г2С	6,5	12700	21200	400	690
25Г2С	6,5	21171	25000	428	754

ВЫВОДЫ:

1. Установлено изменение прочностных характеристик стали 08Г2С по ходу технологии изготовления проволоки диаметром 2 мм из горячекатаной заготовки диаметром 6,5 мм.
2. Определено влияние количества углерода на прочностные характеристики горячекатаной заготовки диаметром 6,5 мм.

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., Перетяцько В.Н., Вульф В.В.// Заводская лаборатория. – 1967. - №6. – С.71-72

В.А. Долинский, А.А. Пермяков
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ МАГНЕЗИАЛЬНО- ГЛИНОЗЕМИСТОГО ДОМЕННОГО ШЛАКА

Поверхностное натяжение магнезиального шлака определяли методом максимального давления газа в пузырьке. В минералах шлака Ш 2 происходит изоморфное замещение катионов Si^{4+} на Al^{3+} . С понижением температуры поверхностное натяжение шлаков вначале уменьшается, достигает определенного минимума (шлак Ш 2) или нескольких минимумов (Ш 1), а затем возрастает. Минимум поверхностного натяжения шлака отмечается в момент основного массового зарождения и роста кристаллов. Для шлака Ш 2 этот минимум соответствует температуре 1705 К, т.е. температуре кристаллизации мелилита, богатого геленитом. Для шлака Ш 1 один минимум соответствует температуре 1740 К, а другой – 1650 К. Повышение поверхностного натяжения в заключительную стадию затвердевания обусловлено увеличением вязкости остаточного расплава.

Superficial tension of magnesia-alumina slag defined by a method of the maximal pressure of gas in bubble. The minimum of a superficial tension of slag is marked at the moment of the basic mass origin and growth of crystals.

Роль поверхностных явлений в металлургических процессах, протекающих на границе раздела фаз металл-шлак, металл-газ, чрезвычайно велика. Отделение металла от шлаков, дисперсирование металла в шлаках, адсорбция на границах раздела фаз, взаимодействие шлака с футеровкой, вспенивание шлака – вот далеко не полный перечень явлений, связанных с величиной поверхностного натяжения шлаков.

Поверхностное натяжение является одним из важнейших свойств, оказывающих влияние на доменный процесс [1].

Согласно ионным представлениям о строении жидких шлаков, ионы, находящиеся в пограничном слое с газовой средой, испытывают одностороннее притяжение внутренних слоев шлака (по сравнению с незначительным притяжением газовой среды). В результате на

поверхности расплава образуется тонкая пленка частиц, оказывающая давление на расплав и сжимающая его.

Существует много способов измерения поверхностного натяжения [2-15]. Большинство надежных измерений поверхностного натяжения выполнено методом максимального давления в пузырьке (капле) [2-7], а также методом капли, лежащей на подкладке (в чашке) [8-13] или висящей на конце стержня [14].

Независимо от применяемого метода необходимыми условиями получения достоверных значений поверхностного натяжения являются: высокая чистота исходных образцов, нейтральность газовой атмосферы и устранение взаимодействия расплава с материалом прибора (подкладки, чашечки, капилляры). При отыскании размеров капель по их фотографиям существенны также доброкачественная оптическая система, обеспечение оптимального увеличения, близкого к пятикратному, надежные методы последующего обмера капель и обработки результатов.

В данной работе для определения поверхностного натяжения использовали метод максимального давления газа в пузырьке. Сущность метода заключается в определении максимального давления, необходимого для продавливания пузырька газа через капилляр, погруженный в шлаковый расплав на определенную глубину. Выбор этого метода не случаен. Дело в том, что он обладает высокой точностью, применим для различных металлических и шлаковых систем, поэтому является самым распространенным. Использование метода максимального давления газа в пузырьке имеет ряд преимуществ, а именно, его компактность, несложность в управлении и настройке регистрирующих приборов, высокую чувствительность прибора в широком диапазоне измеряемого поверхностного натяжения, высокую точность определения (3-8 %), относительно простую настройку системы и простую систему капилляров, отсутствие градиента температуры и концентрации расплава в тигле благодаря перемешиванию расплава, возможность измерения плотности расплава, использование малых навесок шлака (не более 0,05 кг).

Установка для определения поверхностного натяжения состоит из печи Таммана, осушительной и измерительной систем (рисунок 1). В качестве градуировочной жидкости используется дистиллированная вода, а рабочим газом является аргон чистотой 99,99 % (ГОСТ 10157-73).

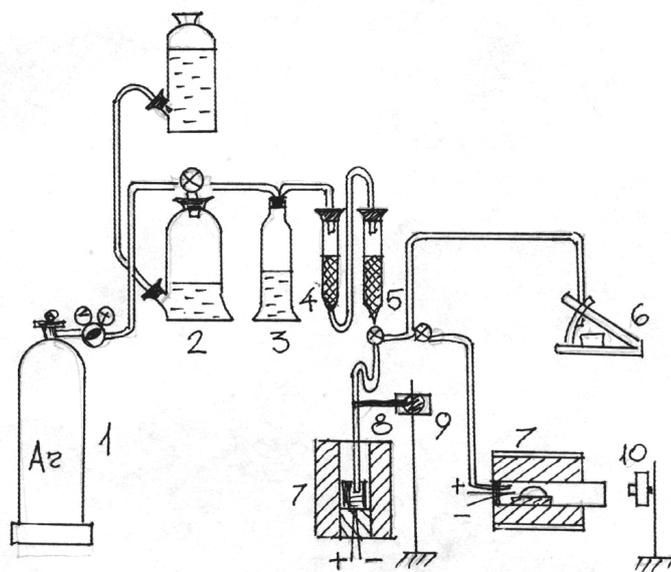


Рисунок 1 – Схема установки для измерения поверхностного натяжения и плотности шлака

1 – баллон с рабочим газом; 2 – напорная склянка; 3 – склянка с раствором *KOH*; 4, 5 – сосуд с активированным глиноземом; 6 – микро-монотметр; 7 – печь Таммна; 8 – капилляр; 9 – микроподъемник.

Измерительная система включает в себя спиртовой микроанометр типа ММН (точность определения $\pm 0,01$ мм), микрометрический подъемник (точность определения $\pm 0,3$ мм) и погружаемый капилляр.

Температуру опыта определяли двумя стандартными платинопалладий-платиновыми термопарами, одна из которых помещается под тиглем в магнетитовой подставке, а вторая используется для кратковременного измерения температуры шлака погружением ее сверху. В качестве капилляра применяли кварцевые трубки с наружным диаметром 5 - 5,5 мм и внутренним – 3 - 3,5 мм. Лучшие результаты получаются при заточке капилляра на «нож». Это особенно важно при использовании керамических капилляров. Для исключения влияния шлака на разрушение капилляра необходимо применять при каждом замере новый капилляр. Количество замеров должно быть не менее трех.

При погружении в шлак капилляра через него продувают аргон и измеряют микроанометром максимальное давление, необходимое для отрыва пузырька с конца капилляра. Общее давление газа, при котором образуется пузырек, равно гидростатическому давлению и силе поверхностного натяжения. Давление газа в пузырьке P , Н / м²:

$$P = 2\sigma/r + g \cdot h \cdot (\rho_{\text{шл.}} - \rho_{\text{ар.}}), \quad (1)$$

где σ – поверхностное натяжение, Н/м;
 r – радиус капилляра, м;
 g – ускорения силы тяжести, м/с²;
 h – глубина погружения капилляра в шлак, м;
 $\rho_{\text{шл.}}, \rho_{\text{ар.}}$ – плотность шлака и аргона, кг/м³.

Давление газа в пузырьке равно давлению жидкости в манометре, Н/м²:

$$P = g \cdot H \cdot \rho_{\text{сп.}}, \quad (2)$$

где H – высота столба спирта в манометре, м;
 $\rho_{\text{сп.}}$ – плотность спирта в манометре, кг/м³.

Ввиду малой величины $\rho_{\text{ар.}}$ выражение (1) можно упростить:

$$P = 2\sigma/r + g \cdot h \cdot \rho_{\text{шл.}} \quad (3)$$

Приравнявая (2) и (3), получим:

$$2\sigma/r + g \cdot h \cdot \rho_{\text{шл.}} = g \cdot H \cdot \rho_{\text{сп.}} \quad (4)$$

Откуда $\sigma = g \cdot r / 2 (H \cdot \rho_{\text{сп.}} - h \cdot \rho_{\text{шл.}})$.

Для определения плотности исследуемого шлака ($\rho_{\text{шл.}}$) производят измерения максимального давления газа в пузырьке в момент отрыва его от капилляра на двух уровнях (5 и 7 мм), которые были установлены как оптимальные при градуировке капилляра на дистиллированной воде. Плотность шлака подсчитывается по формуле, кг/м³:

$$\rho_{\text{шл.}} = \rho_{\text{сп.}} \cdot \Delta H / \Delta h,$$

где ΔH – изменение столба жидкости в манометре при погружении капилляра на глубину Δh , м.

В работе изучали поверхностное натяжение магнезиального шлака Кузнецкого металлургического комбината. Для исследования были отобраны 20 проб верхнего шлака (Ш 1) и 15 проб нижнего шлака (Ш 2), полученных при выплавке передельного и литейного чугунов соответственно. Для лучшей кристаллизации шлака его вы-

пускали в специально подготовленную на литейном дворе так называемую «томильную» яму. После выпуска шлак сверху засыпали коксовой мелочью и оставляли до полного охлаждения.

Усредненный химический состав доменного шлака представлен ниже:

Шлак	Содержание, %											
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	Fe _{общ}	Fe _{мет}	FeO	S	CaO/SiO ₂	CaO+MgO/SiO ₂
Ш 1	37,88	12,93	35,77	11,10	0,38	0,022	0,55	0,12	0,56	0,64	0,94	1,24
Ш 2	38,58	13,85	37,79	7,85	0,38	0,051	0,56	0,16	0,52	0,87	0,98	1,18

Термодинамическая характеристика поверхности раздела фаз определяется как работа обратимого изотермического образования единицы площади этой поверхности. Поверхностное натяжение жидкой поверхности раздела следует рассматривать как силу, действующую на единицу длины контура поверхности и стремящуюся сократить поверхность до минимума при данном объеме. Работа образования новой поверхности затрачивается на преодоление сил межмолекулярного сцепления (когезии) при переходе молекул вещества из объема тела в поверхностный слой. Равнодействующая межмолекулярных сил в поверхностном слое не равна нулю (как в объеме тела) и направлена внутрь фазы с большей когезией. Таким образом, поверхностное натяжение результат некомпенсированности межмолекулярных сил в поверхностном слое или, что одно и то же, избытка свободной энергии в поверхностном слое по сравнению со свободной энергией в объемах соприкасающихся фаз.

Благодаря поверхностному натяжению жидкость при отсутствии внешних силовых воздействий принимает форму шара, отвечающую минимальной величине поверхности и, следовательно, наименьшему значению свободной поверхности энергии. Расплавы металлов (железа) имеют по сравнению с расплавами оксидов и силикатов на два порядка большее поверхностное натяжение, поэтому железо в шлаках наблюдается в форме сферических капель или корольков (рисунок 2).

Минералогические исследования шлаков всех проб проводили в шлифах и аншлифах, изготовленных из кусков шлака, отобранных из верхних, средних и нижних зон шлаковых слитков пробы. При отборе образцов на шлифы и аншлифы проводилось предварительное макроскопическое описание его структурно-текстурных особенностей с помощью стереоскопического микроскопа МБС-2. Исследование рудных минералов проводилось с помощью микроскопов МИМ-8М. При минераграфическом исследовании с увеличением от 7 до 2000 широ-

ко применялось структурное и диагностическое травление. Кристаллооптические минералого – петрографические исследования проводили в шлаках на микроскопах ПОЛАМ – Р 213 и МИН – 8. Показатели преломлений силикатных минералов определяли с помощью стандартного набора иммерсионных жидкостей. Шлаки с помощью микроскопов ПОЛАМ – Р213 и МИН – 8 фотографировали через микрофотонасадку МФН – 12 и систему удлинительных колец. Минералы в шлифах подсчитывали тестовым методом.

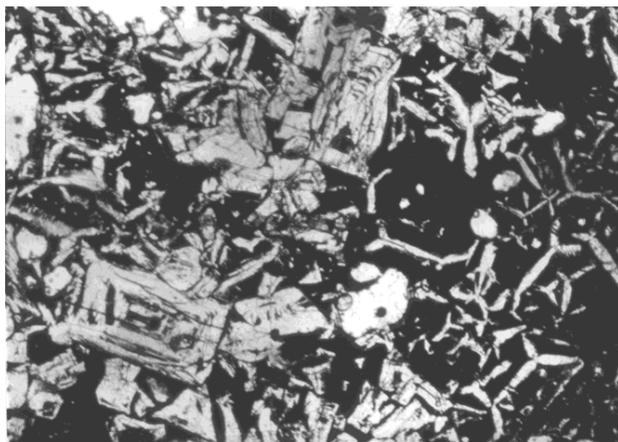


Рисунок 2 – Корольки железа (белое) среди скелетных кристаллов мелилита (серое) и стекла (черное). Отраженный свет. $\times 420$.

Чем сложнее структура силикатного или оксидного минерала и чем крупнее его дозародышевые комплексы в расплаве, тем ниже величина его поверхностного натяжения. Тем более что в время выделяется большое количество скрытой теплоты кристаллизации в процессе бурной скелетно-дендритной кристаллизации. Так, серия шлаков Ш 2 содержит больше шпинелидов, алюминатов и оливинов, обладающих сравнительно простой структурой как в кристаллическом, так и в расплавленном состоянии, но содержит меньше (67,5 % (объемн.)) мелилитов, обладающих более сложной цепочно – кольцевой структурой. Напротив, шлак Ш 1 имеет несколько больше (72,8 % (объемн.)) мелилитов (рисунок 3) за счет уменьшения количества шпинелидов, алюминатов и оливинов. Вследствие этого поверхностное натяжение расплава шлака Ш 2 выше ($\sigma_{Ш2} = 0,189 - 0,354 \text{ Дж/м}^2$), чем поверхностное натяжение расплава шлака Ш 1 ($\sigma_{Ш1} = 0,114 - 0,274 \text{ Дж/м}^2$).

В многокомпонентном доменном шлаке в соответствии с термодинамическим уравнением Гиббса при адсорбции изменение поверхностного натяжения описывается уравнением

$$-d\sigma = \Gamma_1 d\mu_1 + \Gamma_2 d\mu_2 + \dots,$$

где Γ_1, Γ_2 – поверхностные избытки компонентов 1, 2, ..., т. е. разность их концентраций в поверхностном слое и объеме шлага;

$d\mu_1, d\mu_2$ – изменение химического потенциала соответствующих компонентов (знак «минус» показывает, что поверхностное натяжение при положительной адсорбции уменьшается).

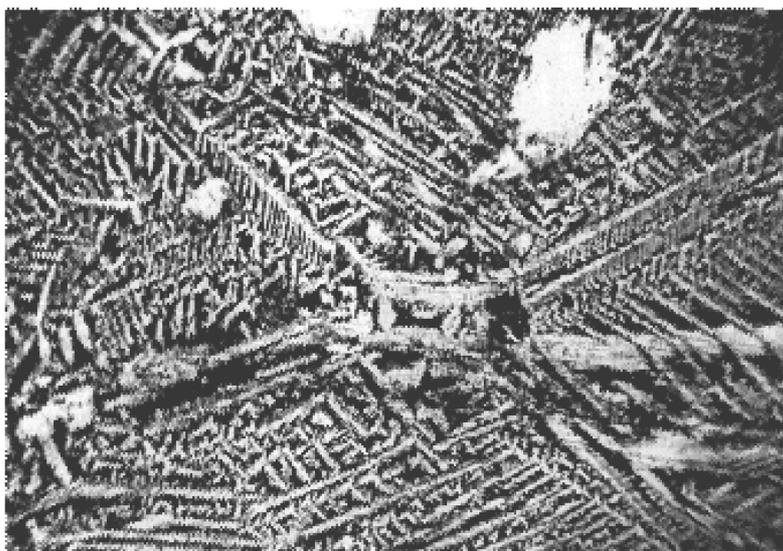


Рисунок 3 – Густая сеть скелетных кристаллов мелилитов в шлаке. Отраженный свет. $\times 420$.

Повышенное поверхностное натяжение связано со структурой строения расплава и его химико – минеральным составом. Замечено, что замена одного катиона другим, имеющим большее отношение заряда e к радиусу r , приводит к понижению поверхностного натяжения [1]. Исходя из этого, все компоненты, составляющие исследуемые шлаки, по отношению e/r следует расположить в последовательности: P^{+5} (143) > Si^{4+} (102) > Al^{3+} (56) > Fe^{3+} (45) > Mg^{2+} (27) > Fe^{2+} (25) > Mn^{2+} (22) > Ca^{2+} (19). В этой последовательности следует ожидать и увеличения поверхностного натяжения расплава.

В результате проведенного исследования установлено следующее:

1. При зарождении кристаллов и образовании дозародышевых кластеров в шлаке Ш 2 происходит более интенсивное изоморфное замещение катионов Si^{4+} на Al^{3+} , так как относительное содержание CaO/MgO в шлаке Ш 2 выше, чем в шлаке Ш 1, что способствует увеличению поверхностного натяжения шлага Ш 2. Остальные ком-

поненты вследствие их малого содержания не оказывают заметного влияния на изменение поверхностного натяжения шлаков Ш 2 и Ш 1.

2. С понижением температуры поверхностное натяжение шлаков вначале уменьшается за счет разогрева от выделяющейся теплоты при бурной скелетной кристаллизации, достигает определенного минимума (шлак Ш 2) или нескольких минимумов (Ш 1), а затем неизменно возрастает (рисунок 4). Минимум поверхностного натяжения шлака отмечается в момент основного массового зарождения и скелетного роста кристаллов. Для шлака Ш 2 этот минимум соответствует температуре 1705 К, т.е. температуре зарождения и роста мелилита, богатого геленитом. Для шлака Ш 1 один минимум соответствует температуре 1740 К, а другой – 1650 К: первый соответствует температуре кристаллизации мелилита с высоким содержанием геленитовой составляющей, второй – кристаллизации мелилита с высоким содержанием окерманитовой составляющей, т.е. расплаву мелилита эвтектического состава. Минимальное поверхностное натяжение при отмеченных температурах обусловлено нарушением гомогенности расплава за счет появления в нем большого количества сложных комплексных анионных кластеров.

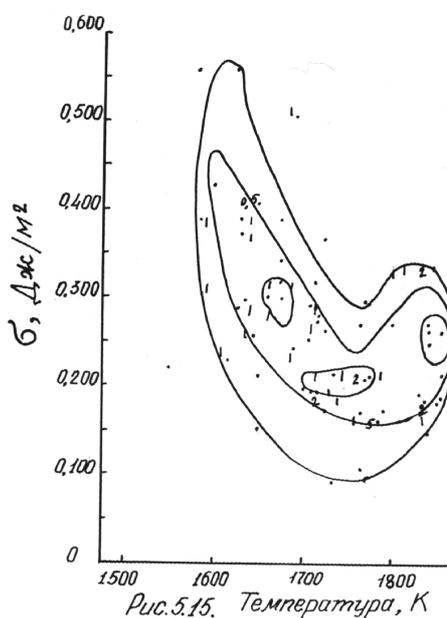
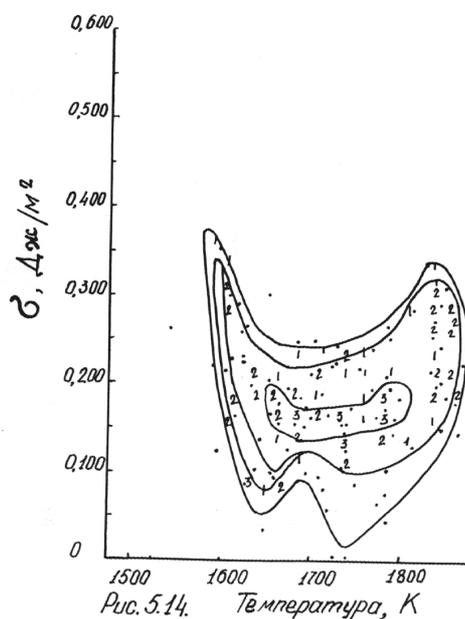


Рисунок 4 – Зависимость от температуры поверхностного натяжения шлака Ш 1 слева и шлака Ш 2

3. Повышение поверхностного натяжения в заключительную стадию его затвердевания, по-видимому, обусловлено увеличением вязкости остаточного расплава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Свойства жидких доменных шлаков: справочное пособие / В. Г. Воскобойников и др. – М.: Metallurgy, 1975. – С.184 .
2. Пугачевич П. П. Некоторые вопросы измерения поверхностного натяжения металлических расплавов методом максимального давления в газовом пузырьке: в сб.: поверхностные явления в металлургических процессах / П. П. Пугачевич. – М.: Metallurgizdat, 1963. – С.177 – 192.
3. Близнюков С. А. Установка для определения поверхностного натяжения жидких металлов/ С. А. Близнюков, А. Ф. Вишкарев, В. М. Явойский // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1964. – № 7. – С. 227 – 232.
4. Соколов В. И. Установка для измерения поверхностного натяжения, плотности и вязкости расплавов в защитной атмосфере / В. И. Соколов, С. И. Попель // В сб.: Поверхностные явления в расплавах и возникающих из них твердых фазах. – Нальчик, 1965. – С.216 – 222.
5. Поверхностное натяжение и плотность шлаковых расплавов системы $\text{CaF}_2 - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ с добавками SiO_2 / Д. Я. Поволоцкий [и др.] // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1982. – № 12. – С.1 – 3.
6. Абросимов А. С. Зависимость поверхностного натяжения и плотности некоторых железистых шлаков от температуры / А. С. Абросимов, Э. Г. Гаврин, В. И. Еремейченков // Изв. вузов. Чер. металлургия – 1975. № 8. – С. 14 – 17.
7. Щербакова З. И. Поверхностное натяжение доменного шлака / З. И. Щербакова, М. К. Зильбер // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1962. - № 2. – С. 18 – 20.
8. Еременко В. Н. Измерение поверхностного натяжения металлов и сплавов методом лежащей капли / В. Н. Еременко, Ю. Н. Иващенко, В. И. Ниженко // В сб.: экспериментальная техника и методы исследования при высоких температурах. – М.: АН СССР, 1959. – С. 285 – 294.
9. Ван Цзин – тан. Влияние углерода и кислорода на поверхностное натяжение жидкого железа / Цзин – тан Ван, Р. А. Карасев, А. М. Самарин // Изв. АН СССР. ОТН. Металлургия и топливо. – 1960. – № 1. – С. 30 – 35.
10. Баум Б. А. Влияние водорода на поверхностное натяжение железа и его сплавов / Б. А. Баум, К. Т. Курочкин, П. В. Улерихин // Изв. АН СССР. ОТН. Металлургия и топливо. – 1961. – № 3. – С. 82 – 89.

11. Царевский Б. В. Адгезия сталей к различным огнеупорным материалам / Б. В. Царевский, С. И. Попель // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1963. – № 12. – С. 9 – 13.

12. Еременко В. Н. Влияние кислорода на поверхностное натяжение никеля и краевого угол смачивания никелем окиси алюминия / В. Н. Еременко, Ю. В. Найдич // Изв. АН СССР. ОТН. Металлургия и топливо. – 1960. – № 2. – С. 53 – 55.

13. Левин Л. Л. Поверхностные свойства высокоглиноземистых магнезиальных доменных шлаков / Л. Л. Левин, В. Г. Манчинский, В. Ф. Петров // Производство чугуна: вуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск, 1973. – С. 129 – 134.

14. Еременко В. Н. Методика и результаты измерения свободной поверхностной энергии тугоплавких и активных металлов / В. Н. Еременко, Ю. Н. Иващенко, П. С. Марценюк // В сб.: поверхностные явления в расплавах. – Киев: Наукова думка, 1968. – С. 148 – 155.

15. Атлас шлаков: справ. изд., пер. с нем / под ред. И. С. Кушкова. – М.: Металлургия, 1985. – С. 163 – 165.

УДК 621.73

М.В. Филиппова, В.Н. Перетяцько
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ

На примере разработки технологии полугорячей объемной штамповки рассмотрено применение обобщенной функции желательности для решения 'задач с большим количеством откликов. Предварительные исследования свойств стали 18X2H4MA при нагреве в интервале температур 600 – 1000^oC позволили определить оптимальную температуру нагрева металла для полугорячей штамповки

The application of general function of desirability for solving the problem with great many responses was made out using the example of half-hot closed-die forging technology. Preliminary researches of steel 18X2H4MA quality when warming from 600 till 1000 C showed the optimal temperature of metal warming for half-hot forging.

Изделия из стали получают главным образом горячей обработкой давлением (прокаткой, ковкой, штамповкой и др.). Горячая обработка давлением сопровождается нагревом металла до высоких температур. При нагреве металл соприкасается с атмосферой печи, взаимодействует с газами окислителями, в результате чего происходит окисление стали. Окалина, образующаяся на поверхности нагреваемого металла, вызывает абразивный износ штампов и ухудшает качество поверхности поковок. Часто окалина является причиной брака поковок. Этим можно объяснить, что в настоящее время большое внимание уделяется вопросам полугорячей штамповки.

Полугорячей штамповкой принято называть технологический процесс штамповки металла при нагреве в интервале температур 600-800^oC. В этом интервале температур окисление металла незначительно, однако увеличивается сопротивление металла деформации и ухудшаются его пластические свойства.

Рассмотрим выбор оптимальной температуры нагрева заготовки для точной объемной штамповки корпуса распылителя дизельной форсунки из стали 18X2H4MA. Для разработки технологии нагрева и

штамповки провели исследования сопротивления деформации, пластических свойств металла и поверхностного угара при нагреве заготовки. Сопротивление металла деформации определяли на установке горячего скручивания путем пересчета крутящего момента, который записывали на осциллографе. Пластичность оценивали количеством оборотов до разрушения при скручивании цилиндрических образцов, и затем находили степень деформации сдвига в момент разрушения образца [1].

$$\Lambda = \operatorname{tg} \varphi = (\pi * d_0 * n_z) / l_0 \quad (1)$$

где φ - угол наклона риски,

d_0, l_0 – размеры образца до испытания, мм,

n_z - количество оборотов до разрушения.

Исследования проводили при температурах 873 – 1273 °К и скорости деформации 10 с^{-1} , что соответствует скорости реального технологического процесса штамповки на прессах. Для определения влияния температуры нагрева на окалинообразование, были проведены опыты по нагреву образцов стали в муфельной печи до температур полугорячей штамповки. Продолжительность нагрева составляла 10 с., что соответствует продолжительности нагрева металла в индукторе по заводской технологии. Поверхностный угар (окалинообразование) определяли по разности массы образца до нагрева и после охлаждения и удаление окалины. Результаты исследований приведены в таблице 1

Таблица 1 – Опытные данные по исследованию стали 18Х2Н4МА

Температура, град. К	Сопротивление деформации, Y_1 , МПа	Пластические свойства, Y_2 , Λ	Поверхностный угар, Y_3 , кг/м ²
873	450	1,88	0,05
973	350	4,40	0,06
1073	280	7,85	0,12
1173	240	11,30	0,20
1273	200	15,70	0,40

Как видно из таблицы 1 с повышением температуры сопротивление металла деформации уменьшается, повышаются его пластические свойства, но увеличивается количество окалины на заготовке.

Однако при анализе опытных данных невозможно определить оптимальную температуру нагрева для полугорячей штамповки.

Одним из способов решения задачи оптимизации с большим количеством откликов является использование обобщенной функции желательности (D) [2]. Для построения обобщенной функции желательности (D) предполагается преобразовать измеренные значения откликов (Y_i) в безразмерную шкалу желательности (d_i).

Для построения шкалы желательности удобно использовать метод количественных оценок с интервалами значений желательности от нуля до единицы. Промежуточные значения желательности приведены в таблице 2 [2].

Таблица 2 – Шкала желательности

Количественная оценка по шкале желательности	Желательность, значение отклика.
0,80 – 1,00	Очень хорошо
0,63 – 0,80	Хорошо
0,37 – 0,63	Удовлетворительно
0,20 – 0,37	Плохо
0,00 – 0,20	Очень плохо

Построенная в соответствии с таблицей 2 шкала частной функции желательности представляет собой безразмерную шкалу, при помощи которой любой отклик может быть преобразован в терминах полезности или желательности. Для односторонних ограничений вида $y \leq y_{\max}$ или $y \geq y_{\min}$ в качестве частной функции желательности используют экспоненциальную зависимость [2].

$$d = \exp (- \exp (- z)), \quad (2)$$

$$\text{в выражении (2) } z = b_0 + b_1 * Y. \quad (3)$$

Коэффициенты b_0 и b_1 можно определить, если задать для двух значений свойств (Y) соответствующие значения желательности (d), предпочтительно в интервале $0,20 \leq d \leq 0,80$. Имея несколько частных функций желательности (d_i), можно определить обобщенную функцию желательности

$$D = \sqrt[k]{d_1 * d_2 * \dots * d_k} \quad (4)$$

где k – количество частных функций желательности.

Обобщенная функция желательности D была использована для определения оптимальной температуры нагрева заготовки для точной объемной штамповки корпуса распылителя дизельной форсунки. В качестве откликов использованы:

Y_1 – сопротивление металла деформации, МПа,

Y_2 – пластические свойства металла, степень деформации сдвига в месте разрушения - Λ ,

Y_3 – поверхностный угар, кг / м².

Приведем последовательность расчетов при определении обобщенной функции желательности. Для нахождения частной функции желательности необходимо преобразовать измеряемые свойства Y_i в равномерную безразмерную шкалу z . Ограничения при этом носят односторонний характер $Y_1 \leq Y_{1max}$, $Y_2 \geq Y_{2min}$, $Y_3 \leq Y_{3max}$. Моделируя полугорячую штамповку, из технологических соображений износа штампового инструмента, получения поковок без трещин и отсутствия поковок с плохой поверхностью из-за наличия окалины, были выбраны значения Y_1 , Y_2 , и Y_3 , которые соответствовали двум базовым отметкам на шкале желательности. Таблица 3. Изменяя значения базовых отметок Y_1 , Y_2 и Y_3 можно моделировать и другие технологии штамповки.

Таблица 3 – Базовые значения свойств и соответствующие частные функции желательности

Свойства	Y_1 , МПа		Y_2 , Λ		Y_3 , кг/м ²	
	Y_{11}	Y_{12}	Y_{21}	Y_{22}	Y_{31}	Y_{32}
Значения свойств, Y_i	250	400	7,85	1,57	0,15	0,30
Желательность, d_i	0,70	0,20	0,70	0,20	0,70	0,20

Из уравнения (2) находим значения z для двух базовых отметок на шкале желательности. Так для сопротивления металла деформации, имеем

$$z_{11} = - \ln(\ln (1/d_{11})); \quad z_{12} = - \ln (\ln (1/d_{12})) \quad (5)$$

Решая уравнение (5) совместно с уравнением (3), получим систему уравнений для определения коэффициентов b_{01} и b_{11} .

Тогда частная функция желательности d_1 будет равна

$$d_1 = \exp (- \exp (- (b_{01} + b_{11} * Y_1))) \quad (6)$$

Аналогично рассчитаны частные функции желательности для откликов

$У_2$ и $У_3$. Расчетные данные приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчетные данные функции желательности

Температура, °К	Частные функции желательности			Обобщенная функция желательности, D
	d_1	d_2	d_3	
873	0,1016	0,2579	0,8812	0,2912
973	0,3549	0,7080	0,8400	0,5956
1073	0,5819	0,9122	0,7415	0,7328
1173	0,7273	0,9757	0,4764	0,6966
1273	0,8137	0,9935	0,0329	0,2965

По результатам опытных данных построен график зависимости обобщенной функции желательности от температуры нагрева металла (рисунок 1)

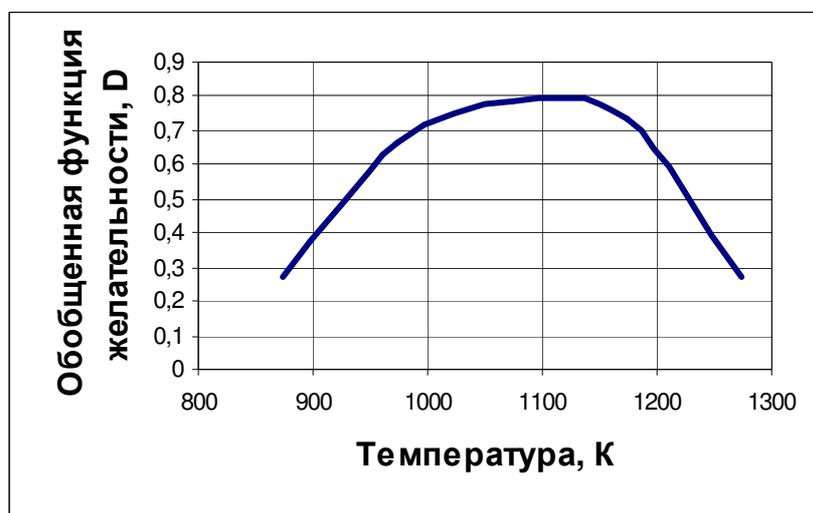


Рисунок 1 –Обобщенная функция желательности

Из графика видно, что обобщенная функция желательности имеет максимум при температурах 1100 – 1130 градусов Кельвина (823 – 853 °С.) Следовательно, эту температуру можно рекомендовать для нагрева заготовок стали 18Х2Н4МА для полугорячей штамповки корпуса распылителя дизельной форсунки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пластичность и разрушение / Под. ред. В.Л. Колмогорова - М.: Металлургия, 1977. – 336 с.
2. Новик Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов -М.: Машиностроение, 1980. -304 с.

УДК 658.62.018:669.14.018.294.2

Л.В. Корнева*, Т.Н. Осколкова
ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат»*,
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

КАЧЕСТВО РЕЛЬСОВ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

В статье представлены результаты исследований низколегированных марок сталей для производства рельсов. Применение этих сталей позволяет исключить термическую обработку, обеспечив требуемый уровень механических свойств.

In this article the results of experiments with low-alloy types of steel for rail production are presented. The application of these types of steel allow to exclude heat treatment providing necessary level of mechanical properties.

Для обеспечения безопасного движения высокоскоростных поездов к качеству рельсов предъявляются повышенные требования в основном по прямолинейности, остаточным напряжениям и точности геометрии [1]. Этим требованиям не в полной мере удовлетворяют рельсы из углеродистой стали, имеющие недостаточный запас прочности в горячекатаном состоянии, и неудовлетворительную прямолинейность после термической обработки. Применение низколегированных марок сталей для производства рельсов позволяет исключить термическую обработку и связанные с ней недостатки, обеспечив требуемый уровень механических свойств [2]. Работая в этом направлении, на ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат» (НКМК) разработаны технические условия ТУ 0921-195оп-01124328-2005 на производство рельсов из стали марки Э76ХГФ. Предварительными исследованиями определена оптимальная концентрация углерода, марганца, кремния и хрома в стали, обеспечивающая в рельсах требуемое сочетание прочности и пластичности. Ряд проведенных мероприятий по усовершенствованию роликоправильной машины, позволили разработать технологию производства рельсов, гарантирующую их прямолинейность и низкие остаточные напряжения.

Для определения возможности серийного производства рельсов для скоростного движения проведены три плавки низколегированной стали (таблица 1).

Таблица 1- Химический состав низколегированной стали

№ плавки	Массовая доля элементов, %									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	V
Н 1712	0,70	0,80	0,32	0,013	0,004	0,78	0,09	0,16	0,005	0,07
Н1719	0,72	0,80	0,34	0,010	0,006	0,77	0,09	0,14	0,005	0,07
Н1720	0,71	0,83	0,36	0,011	0,006	0,79	0,08	0,16	0,005	0,06
Гребования ТУ 0921-195оп-2005	0,71-0,82	0,75-1,05	0,30-0,60	≤0,025	≤0,020	0,40-0,80	≤0,20	≤0,20	≤0,004	0,05-0,15

Разливку опытного металла производили на МНЛЗ. Нагрев и прокатку осуществляли по принятой на комбинате технологии. Температура рельсового раската на выходе из чистой клетки стана 850 составила 950-1000 °С. После прокатки опытные рельсы прошли замедленное охлаждение в коробах, затем их подвергли холодной правке на РПМ в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Горячекатаные рельсы из низколегированной стали показали удовлетворительную прямолинейность и высокую точность изготовления профиля. После испытания на копровую прочность при падении груза с высоты 7,3 м стрела прогиба копровых проб составила 23, 24 и 24 мм соответственно для плавки № Н1712, Н1719 и Н1720.

Опытные рельсы показали низкие остаточные напряжения. При порезке шейки пробы по нейтральной оси, расхождение паза составило 0,7 и 0,8 мм. На углеродистых рельсах в горячекатаном состоянии расхождение паза обычно достигает 2,3 -2,7 мм.

Количество неметаллических включений, их морфология и распределение в металле рельсов, легированных хромом, ничем не отличается от углеродистых рельсов. Максимальная длина строчки алюминатов кальция, выявленная на шлифах двух головных рельсов плавки №Н1719, составила 0,26 мм. Объемная доля указанных включений в этих рельсах оценена 0,5-1 баллом по шкале ГОСТ 1778 -70. Сравнительно низкую загрязненность алюминатами кальция показали рельсы пл. Н1712. Максимальная длина их строчки составила 0,09

мм. Вместе с тем, в этом металле отмечается сравнительно высокая доля пластичных силикатов, оцениваемая 1 баллом. Промежуточное положение по загрязненности алюминатами кальция занимают рельсы Н1920. Длина их строчки составляет 0,19 мм. Строчек глинозёма, нитридов титана, а также строчек глинозёма, цементированных силикатами, в металле всех исследуемых плавок не наблюдается.

При оценке макроструктуры в металле опытных плавок отмечено отсутствие ликвационных полосок и точечной неоднородности. Химическая неоднородность, выявленная в осевой зоне шейки, наблюдается в виде сосредоточенной ликвации 1-2 балла.

Результаты механических испытаний рельсов трех опытных плавок (таблица 2) показали удовлетворительные значения прочности, твердости и пластичности.

Таблица 2 – Механические свойства низколегированной стали

№ пл.	Место вырезки образца	σ_T	σ_B	δ	ψ	КСУ, МДж/м ² при t °С		Твёрдость, НВ							
		МПа		%		+20	-60	головка				шейка	По-дошва		
								ПКГ	10 мм	22 мм	вы-кружка				
Н1712	голова	696	1098	9	19	7	7	341	331	321	331	341	302	341	341
		706	1098	10	20	7	5								
	шейка	666	1058	9	15	9 7	-								
	по-дошва	715	1147	12	24	10 9	-								
Н1719	голова	686	1088	10	15	12	9	352	341	321	331	331	302	321	341
		696	1117	10	18	12	8								
	шейка	637	1019	11	17	15 15	-								
	по-дошва	715	1156	14	24	20 9	-								
Н1720	голова	715	1117	11,5	21,5	16	4	341	341	321	331	331	341	341	341
		715	1117	11	21	10	5								
	шейка	657	1058	11	17	16 16	-								
	по-дошва	715	1137	11	22	18 20	-								
ТУ 0921-195оп-2005															
		-	Не менее 1080	Не менее 9	-	-	-	321-363	Не менее 301	321-363	-	-	-	-	-

При этом рельсы всех трех плавок имеют практически одинаковый уровень всех механических характеристик и твердости, что обусловлено близким содержанием углерода, марганца, кремния и хрома.

Сравнительный анализ механических свойств элементов профиля рельса показал преимущество подошвы по всем механическим характеристикам. Более низкие механические свойства имеет шейка, что возможно обусловлено влиянием ликвации.

Сравнение механических свойств и твердости рельсов из стали Э76ХГФ и рельсов из стали Э76Ф показали, что в горячекатаном состоянии рельсы из низколегированной стали превосходят углеродистые по твердости и пластичности. Значение твердости рельсов из низколегированной стали соизмеримы со значениями твердости углеродистых термоупрочненных рельсов. Уровень ударной вязкости опытных рельсов низкий и находится на одном уровне с ударной вязкостью нетермоупрочненных рельсов из углеродистой стали.

Благоприятное сочетание твердости, прочности и пластичности опытных рельсов обусловлено мелкозернистой (№ 6 по шкале ГОСТ 5639-82) структурой металла, состоящей из тонкопластинчатого перлита.

К рельсам особое значение придается степени обезуглероживания поверхностного слоя головки. Обезуглероженный слой на исследуемых рельсах незначительный. Максимальная глубина его составляет 0,23 мм.

Таким образом, можно предположить, что благоприятное сочетание механических характеристик и твердости при незначительной степени обезуглероживания поверхности, низкие остаточные напряжения, точность геометрии и прямолинейность рельсов из низколегированной стали марки Э76ХГФ послужат гарантией их надежности при эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.F.Kern etal Eisenbahningenieur, 1998. № 8. S.12-16
- 2.Гахеладзе Г.С., Гордиенко М.С. Качество рельсов из низколегированной стали М70ХГСФ // Сталь. 2001. С.65-66

УДК 669.162.1:622.785

М.И. Карпенко, В.А. Долинский
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТИЧНО МЕТАЛЛИЗОВАННОГО АГЛОМЕРАТА

В статье рассмотрены условия получения частично металлизированного агломерата. Агломерат получен перераспределением топлива и возврата между слоями двухслойной шихты. Расчетом проведен анализ развития окислительно-восстановительных процессов при формировании частично металлизированного агломерата. Применение такого агломерата в доменной плавке оказывает положительное влияние на ход и показатели работы доменной печи.

In the article conditions of obtaining of partly metallized agglomerate are considered. Agglomerate is obtained by redistribution of fuel and return between layers of the two-layer charge. Analysis of the development of oxy-reconstruction processes when shaping clean metallized agglomerate is made by means of calculation. Using such agglomerate in blast furnace smelting positively acts on index of operation of blast furnace.

Основными путями дальнейшего повышения производительности доменных печей в настоящее время является коренное улучшение качества железорудного сырья, обусловленное оптимизацией физико-химических условий восстановительно-тепловой обработки шихтовых материалов, а также его стабилизацией.

Качество агломерата является функцией его многих свойств. Наряду с этим большие неиспользованные резервы заключены в применении предварительно восстановленного (металлизированного) агломерата, обладающего достаточно высокой механической прочностью при восстановительно-тепловой обработке. Однако ранее проведенные исследования в области получения металлизированного агломерата с высоким содержанием топлива в аглошихте, как в лабораторных, так и промышленных условиях выявили низкую производительность агломашин, опасность заплавления колосников паллет и повышенное серопоглощение $Fe_{мет}$ [1,2].

Вместе с тем, даже частичное решение проблемы дает значительный экономический эффект в доменной плавке, например ис-

пользование в шихте частично металлизированного агломерата (АЧМ). В АЧМ, полученном за счет перераспределения топлива и возврата в двухслойной аглошихте, при общем расходе топлива ~ 7 %, степень металлизации достигает 7-10 %. Выход годного при этом увеличивается на 3-5 % [3].

В верхнем слое, составляющем 20 – 35 % общей высоты слоя и содержащем 16 - 20 % (абс.) топлива, развиваются более высокие температуры. Термограммы, полученные при спекании шихт с перераспределением топлива и возврата (рисунок 1 а,б) показывают, что максимальные температуры в верхнем горизонте превышают 1330-1450 °С (против 1100 °С при обычном спекании).



а – базовые спекания при 5 % С в шихте и 30 % возврата; б – опыты с перераспределением топлива ($C_{\text{общ.}} = 6,96 \%$) в верхнем слое (в) / в нижнем слое (н) = 19,0 / 2,0 и возврата ($V_{\text{общ.}} = 58,4 \%$) в / н = 12,3/81,2; 1, 2, 3 (цифры у кривых) – номер термопары (сверху вниз), t_p – температура отходящих газов под решеткой.

Рисунок 1 – Термограммы спекания шихт

При этом продолжительность высокой температуры в верхнем слое держалась примерно 4-5 мин, что обеспечивало равномерность распределения высоких температур и интенсивное догорание топлива с образованием повышенного содержания СО.

Степень металлизации ($\beta = \frac{Fe_{\text{мет}}}{Fe_{\text{общ}}} \cdot 100\%$) зависит от содержания твердого топлива в шихте верхнего слоя. На рисунке 2 представлен

график изменения содержания $Fe_{мет}$ верхнего и нижнего слоев в зависимости от содержания твердого топлива в шихте верхнего слоя.

При спекании высокоуглеродистой шихты (до 20 % топлива) при всех прочих равных условиях скорость спекания резко снижается, снижая при этом удельную производительность установки до 0,60 т/(м²·ч), т. е. примерно в два раза. Степень металлизации агломерата при этом достигает 16 %. Степень металлизации агломерата из низкоуглеродистых шихт (до 6-7 % топлива) очень низкая и не превышает 1 %.

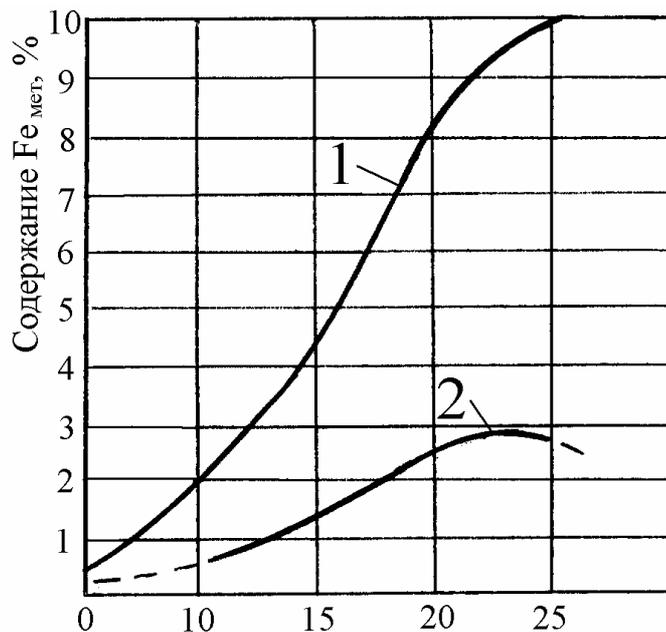


Рисунок 2 – Зависимость содержания $Fe_{мет}$ в верхнем (1) и нижнем (2) слоях от содержания топлива в верхнем слое

В таблице 1 приведены средние составы агломератов базового (АБ) и трех серий АЧМ с различным перераспределением топлива и возврата по слоям.

При спекании шихт АЧМ с перераспределением топлива и возврата между верхним и нижним слоями (со средним содержанием топлива до 7 %) степень металлизации агломерата возрастает более чем в 8-10 раз, составляя в среднем от 5 до 8,5 %.

Благодаря достаточно высокому содержанию расплава в верхнем слое, средняя механическая прочность спека на удар достигла 67 %, на истирание 3,4 %. Для опытов АЧМ характерна повышенная удельная производительность 1,18-1,4 т/(м²·ч), значительная вертикальная скорость спекания до 26 мм/мин. Отношение $CO:CO_2$ в газе в верхнем слое колеблется от 2,2 до 3,5, что говорит о высоком восстановительном потенциале газа в слое. Состав газа из слоя приведен в таблице 2.

Таблица 1 – Химический состав агломерата, распределение топлива и возврата по слоям

Агломерат*	Содержание в слое, %		Состав агломерата, %					
	коксовой мелочи	возврата	Fe _{общ}	Fe _{мет}	F ₂ O ₃	FeO	S _{общ}	C _{ост}
АБ	4,1	30	56,0	0,28	67,31	11,06	0,028	0,10
АЧМ-1В	18,8	19	57,45	10,08	2,53	58,54	0,173	2,710
АЧМ-1Н	2,0	64	56,74	0,59	43,59	16,15	0,031	0,038
АЧМ-2В	18,0	12,6	56,8	6,36	26,23	41,24	0,139	2,63
АЧМ-2Н	1,5	80,8	56,0	3,30	41,89	30,06	0,046	0,37
АЧМ-3В	18,3	12,7	55,4	6,08	26,95	39,16	0,148	1,72
АЧМ-3Н	1,9	74,1	55,3	0,71	60,79	15,48	0,012	1,13

* В – верхний слой, Н – нижний слой

Для оценки окислительно-восстановительных процессов в слое при получении АЧМ принята методика определения изменения содержания FeO, предложенная В.И. Коротичем [4,5]. Схема расчета количества оксида железа (II), образующегося в зоне восстановления, состоит из следующих этапов: расчет состава продуктов горения; определение количества СО, пошедшего на восстановление оксидов железа; пересчет этого количества СО на массу кислорода, отнятого в процессе восстановления; пересчет количества кислорода на количество образовавшегося FeO.

Исходные данные для расчета приняты из таблиц 1,2, а также из работы [6].

Принято: удельный расход воздуха – 0,5 кг/кг сухой шихты; содержание углерода горючего в шихте (при содержании углерода в топливе 85,4 %) - общее 5,9 % ($6,9 \cdot 0,854$), в т.ч. в верхнем слое, составляющем 100 мм, - $18 \cdot 0,854 = 15,3$ %, в нижнем слое (200 мм) – $1,5 \cdot 0,854 = 1,38$ %. Отношение СО / СО₂ в газе (среднее) в слое 2,6, в т.ч. в верхнем слое – 3,1, в нижнем слое – 1,4. Содержание оксида углерода в отсасываемом газе (в среднем) равно 4 %. Количество кислорода воздуха, пошедшего на окисление двухвалентного и металлического железа, - 3 %. Расчет проведен на 100 кг сухой шихты.

Таблица 2 – Состав агломерационных газов в верхнем (в), нижнем (н) слоях и из-под решетки (р) при спекании АЧМ, %.

Состав ляю- щие газа	Время отбора проб от начала спекания, мин										
	2	3	4	5	7	8	9	11	13	14	15
СО (в)	19,3	18,6		21,2	20,9		14,1				
СО ₂ (в)	6,9	8,5		7,2	6,8		4,2				
О ₂ (в)	4,8	3,9		4,1	4,7		10,6				
СО (н)	14,8	15,0	16,4	15,7	15,0		14,0	13,9	11,4		6,1
СО ₂ (н)	9,2	10,2	11,1	9,3	9,9		8,2	7,9	7,0		6,1
О ₂ (н)	5,2	4,7	4,0	4,5	4,7		6,3	7,0	9,8		12,8
СО (р)			5,7			3,6				0,6	
СО ₂ (р)			8,4			5,8				3,1	
О ₂ (р)			9,7			13,6				17,6	

Расчетом получено: количество оксида железа (II), образовавшегося в восстановительной зоне – 30,4 %, количество оксида железа (II), исчезающего в зоне окисления – 15,25 %.

Таким образом, расчеты показывают, что во всех случаях количество вновь образовавшегося оксида железа (II) в агломерируемом слое при получении АЧМ примерно в два раза выше, чем оксида железа (II) вторично окислившегося, а металлического железа окисляется не более 10 % от образующегося. Верхний слой с высокой восстановительной способностью газа работает как реактор, обогащая восстановительным газом нижний слой. Следовательно, практически в 70 % высоты спекаемого слоя происходит ярко выраженный процесс восстановления с получением оксида железа (II) и железа металлического и только в самой нижней части слоя из-за недостатка твердого топлива он близок к нейтральному или в незначительной степени является окислительным.

ВЫВОД

При относительно невысоком общем расходе твердого топлива в агломерационную шихту путем перераспределения топлива и возврата по слоям в двухслойной шихте и создания высокого восстановительного потенциала газа в верхнем слое можно получить частично металлизированный агломерат, обладающий более высокими металлургическими свойствами по сравнению с агломератом полученным обычным способом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Промышленный опыт производства металлизированного агломерата на стандартной агломерационной машине /А. Н. Похвиснев [и др.] // Сталь. 1972. - № 3. – С. 199 - 202.

2. Некоторые особенности получения агломерата, металлизированного в процессе спекания / М. С. Быков [и др.] // Производство чугуна: межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск, 1973. – Вып.2. – С. 145 - 148.

3. А.С. 1041591 СССР. Способ подготовки шихты к спеканию / И. К. Борискин [и др.] // Открытия. Изобретения. – 1983. - № 34. – С. 99.

4. Сборник примеров и задач по курсу «Теория и технология подготовки сырья к доменной плавке» / Коротич В. И – Свердловск. УПИ, 1978. - 126 с.

5. Горение топлива и окислительно-восстановительные процессы при агломерации железорудных материалов: текст лекций / В. И. Коротич. – Свердловск. УГТУ, 1996.– 64 с.

6. Теория металлизации железорудного сырья /Ю. С. Юсфин [и др.] – М.: Metallurgia, 1982. – 256 с.

**ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ**

УДК 621.3.049.77

Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Е.К. Юркова
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ: ОЦЕНКА, ТЕНДЕНЦИИ, ПРОГНОЗЫ

Проведено аналитическое исследование современного состояния нанотехнологий в мире, определены доминирующие тенденции, дан прогноз на ближайшие годы.

Analytical treatment of current state of nanotechnologies in the world is realized, dominating tendencies are specified, forecast for the next few years is given.

В настоящее время исследования в области наноматериалов и нанотехнологий привлекают пристальное внимание специалистов различных областей науки и технологии [1]. По оценкам экспертов, именно благодаря развитию нанонауки в сфере высоких технологий происходят революционные изменения. Освоение высоких технологий в современных условиях определяет уровень конкурентоспособности государств в мировом сообществе и степень обеспечения их национальной безопасности. Государства, осуществляющие активную деятельность по развитию нанотехнологий, будут являться лидерами мирового сообщества в течение нескольких ближайших десятилетий.

Целью настоящей работы является аналитическое исследование современного состояния нанотехнологий в мире, определение доминирующих тенденций, прогноз на ближайшие годы.

Приставка «нано» (от греч. *nanos* – карлик) предназначается для образования наименования десятичной доли единицы, соответствующей 10^{-9} . В сочетании с понятием «метр» (от греч. *metron* – мера), т.е. с единицей длины в системе «СИ», предполагается, что речь идёт о геометрических объектах с размерами, соответствующими 10^{-9} м [2]. Наноматериалы содержат в качестве структурных единиц нанобъекты, количество, размер и физико-химические свойства которых определяют функциональную направленность и эксплуатационные характеристики данных материалов. Нанобъекты соответствуют структурным элементам объёмного материала или способной к самостоятельному существованию конденсированной фазе с нанометрически-

ми размерами как минимум в одном измерении при условии, что хотя бы одно из механических, химических, электрофизических, теплофизических или оптических свойств этого объекта зависит от его размера [3]. Фактически диапазон объектов значительно шире – он начинается от отдельных атомов, размер которых составляет менее 0,1 нм, и заканчивается при образовании ими конгломератов и органических молекул, содержащих более 10^9 атомов и имеющих размеры более 1 мкм в одном или двух измерениях [4]. Наиболее значимой особенностью наноматериалов является не конкретный факт уменьшения размера частиц, элементов или структур, а возникновение принципиально новых качественных свойств, не поддающихся объяснению в пределах существующих представлений о свойствах материалов [5]. Эти свойства специалисты связывают главным образом с квантованием энергетического спектра квазичастиц в нанообъектах и наноразмерных структурах, что проявляется в фундаментальном изменении свойств полупроводников, магнетиков, органических и углеродных материалов, молекулярных ансамблей. Часть данных свойств обусловливается эффектами многократного увеличения доли поверхности нанозёрен и нанокластеров, что проявляется в изменении свойств многих конструкционных и неорганических наноматериалов [6].

Технологии, способствующие целенаправленному исследованию, созданию и конструированию материалов и устройств на наноразмерном уровне, называются нанотехнологиями [3]. Проводимые в области нанотехнологий исследования являются весьма наукоёмкими и дорогостоящими. Реализующиеся в этой области работы развиваются особенно стремительно за рубежом в рамках приоритетных, имеющих статус национальных, правительственных программ. Реализация правительственных программ по развитию нанотехнологий в 2004 г. осуществлялась в 51 стране мира, основными лидерами из которых являются США, страны Европейского союза (ЕС), Япония и Китай [7].

В США с 2000 г. осуществляется реализация 10-летней правительственной программы по развитию нанотехнологий «National Nanotechnology Initiative», созданной с целью координации усилий Национального научного общества США, Министерств обороны и энергетики, частных и различных других организаций в области нанонауки, производства и технологии [7, 8, 9]. Особое значение в развитии нанотехнологий США имеет наличие в государственной структуре специальных организаций по проведению инновационных исследований, к числу которых относится, например, Агентство пер-

спективных исследований Министерства обороны, осуществляющее инвестирование в высокорисковые и высокоэффективные проекты [10]. Объем инвестируемых в развитие нанотехнологий средств в 2004 г. со стороны правительства США составил 1,6 млрд долл. США, компаний – 1,7 млрд долл. США [6]. В США планируется значительное увеличение объемов финансирования исследований и разработок в области нанотехнологий с целью занятия лидирующей позиции в мире в течение ближайших нескольких лет [10]. Это следует из материалов отчёта созданного при президенте Консультативного комитета по науке и технологиям: «США не могут позволить себе оказаться на втором месте в этой области. Страна, которая будет лидировать в области разработки и применения нанотехнологий, будет иметь огромное преимущество в экономической и военной сферах в течение многих десятилетий» [11]. В настоящее время США занимает лидирующие позиции в области нанонауки по синтезу химических веществ и биологических препаратов, по производству наноприборов, сверхточной техники, нанокерамических и других структурированных материалов [12]. Подтверждениями лидирующей позиции США в области нанотехнологий являются число зарегистрированных с 1976 г. в этой области патентов, равное 53128 и составляющее 64 % от количества зарегистрированных патентов в мире, а также количество опубликованных в 1994-2004 гг. работ, составляющее 27,9 % от мирового количества публикаций по данной тематике [6, 13]. На рисунках 1 и 2 представлена информация о лидерстве разных стран в области нанотехнологий по количеству зарегистрированных патентов и опубликованных работ [13].

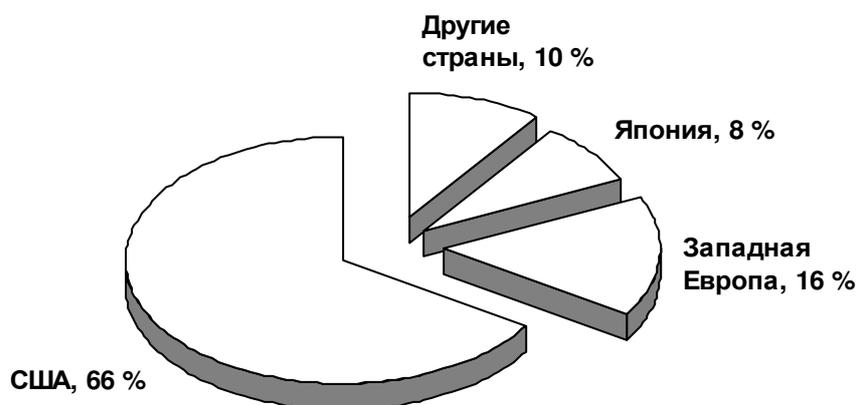


Рисунок 1 – Страны-лидеры по количеству зарегистрированных в области нанотехнологий патентов (2003 г.)

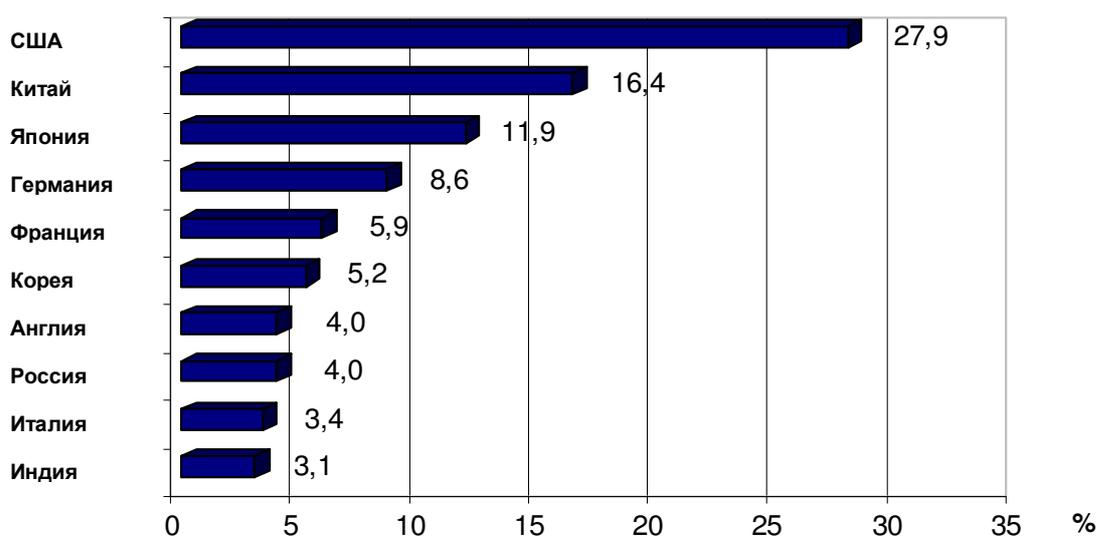


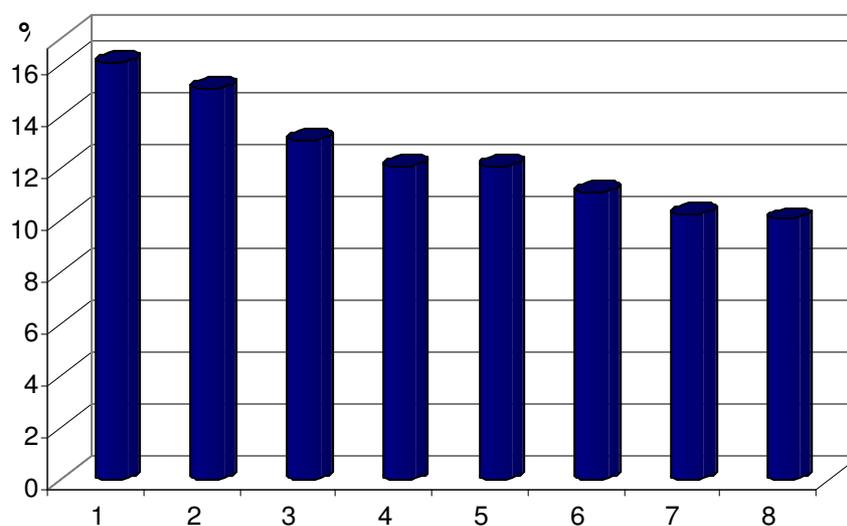
Рисунок 2 – Страны-лидеры по количеству опубликованных в области нанотехнологий работ (2004 г.)

В странах ЕС развитие нанотехнологий осуществляется в соответствии с действующей с 2003 г. 6-ой Рамочной программой, объём финансирования которой со стороны правительств составляет 1,3 млрд долл. США, компаний – 0,7 млрд долл. США. В соответствии с 7-ой Рамочной программой на 2007-2013 гг. правительствами стран ЕС планируется увеличить объём финансирования исследований по развитию нанотехнологий до 4,2 млрд долл. США [6, 7]. В настоящее время страны ЕС занимают ведущие позиции в области нанотехнологий создания новых исследовательских систем и приборов [12]. Странами ЕС-лидерами по количеству опубликованных в этой области работ в 1994-2004 гг. являются Германия – 8,6 % от мирового количества публикаций по данной тематике, Франция – 5,9 % и Англия – 4,0 % [13].

В Японии действующая с 1999 года «Национальная программа работ по нанотехнологии» имеет высший государственный приоритет «Огато». В рамках этой программы предполагается, например, создание электронных компонентов, способных сохранять свои эксплуатационные свойства в экстремальных условиях, таких как открытый космос, зоны поражения ядерными взрывами и температуры до 3000 °С [9]. В настоящее время Япония занимает ведущие позиции по производству электронных наноустройств [12]. В Китае также реализуется правительственная программа по развитию нанотехнологий. Объём финансирования выполняемых в соответствии с данными программа-

ми работ со стороны правительств Японии и Китая составляет около 500 млн и 300 млн долл. США соответственно [14]. По количеству зарегистрированных в области нанотехнологий патентов и количеству опубликованных в 1994-2004 гг. работ Япония (11,9 %) и Китай (16,4 %) являются мировыми лидерами, уступая лишь США [11, 13].

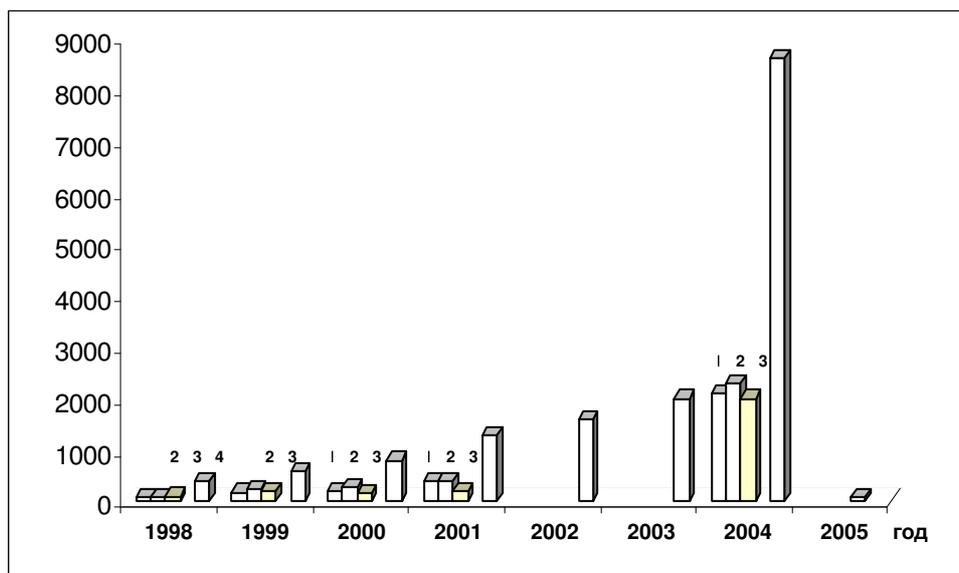
В соответствии с оценками экспертов ЕС, лидирующими областями по освоению и применению нанотехнологий (рисунок 3) являются сенсорные системы, информационные процессы, медицина (а именно самосборка молекулярных систем), медицинские биотехнологии, химические и электрохимические процессы, технологии синтеза наночастиц и диагностика, приборы и т.д. [13]



1 – сенсорные системы; 2 – информационные процессы; 3 – здоровье, экология; 4 – самосборка молекулярных систем; 5 – медицинские биотехнологии; 6 – химические и электрохимические процессы; 7 – технологии синтеза наночастиц; 8 – приборы и методы диагностики.

Рисунок 3 – Лидирующие области освоения и применения нанотехнологий

Мировой объём финансирования научно-исследовательских работ по развитию нанотехнологий в 2004 г. по данным консалтинговой компании Lux Research по сравнению с 2003 г. увеличился на 15 % и составил 8,6 млрд долл. США [6, 7], что подтверждает факт весьма динамичного развития нанонауки. На рисунке 4 представлены данные о росте расходов различных стран на исследования в области нанотехнологий в течение нескольких последних лет [13].



1 – Япония; 2 – США; 3 – Европа; 4 – Всего; 5 – Россия.

Рисунок 4 – Рост расходов на исследования в области нанотехнологий в странах (млн долл. США)

В России работы в области нанотехнологий проводятся в соответствии с различными федеральными, межведомственными и ведомственными программами, ключевой из которых является действующая в течение 2002-2006 гг. Федеральная целевая научно-техническая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники», объём финансирования которой в 2005 г. составил более 70 млн долл. США. Исследования по освоению нанотехнологий проводятся также в соответствии с действующей в течение 2002-2006 гг. Федеральной целевой программой «Национальная технологическая база» [14]. Минпромэнерго России и Росатом осуществляют проведение работ по развитию нанотехнологий в соответствии с Федеральной целевой программой «Национальная технологическая база» и программой «Ультрадисперсные (нано) материалы», Минобороны России – в соответствии с программами развития базовых военных технологий [7]. Работы в области нанотехнологий в России финансируются как правительством в лице Минпромэнерго, Минобрнауки, Минобороны, Росатомом, Роскосмосом, РАН, РФФИ и т.д. [6], так и частными инвесторами. Так, необходимые средства для осуществления 3 из 9 инновационных проектов государственного значения реализуемых Федеральным агентством по науке и инновациям, были инвестированы со стороны правительства в размере около 90 млн долл. США, а со стороны бизнеса – около 110 млн долл. США [11]. С целью координации деятельности различных ведомств в об-

ласти нанотехнологий в соответствии с приказом Минобрнауки от 30.05.2004 г. № 162 создан Межведомственный научно-технический совет по проблеме нанотехнологий и наноматериалов. По поручению Правительства РФ от 15.12.2005 г. № ПП-48-1 пункт 3 разработан проект Программы развития в РФ работ в области нанотехнологий и наноматериалов до 2015 г., который утверждён решением Межведомственного научно-технического совета в марте 2006 года. Основной целью Программы является «создание и развитие научной, технической и технологической базы в области нанотехнологий и наноматериалов в Российской Федерации, обеспечивающей достижение и поддержание паритета с ведущими государствами в ряде ключевых областей науки и техники, ресурсо- и энергосбережения, в создании экологически адаптированных современных промышленных производств, в здравоохранении и производстве продуктов питания, а также необходимый уровень обороноспособности и безопасности государства» [7, 12]. Таким образом, Россия наряду с ведущими в области нанотехнологий странами мира имеет национальную программу по её развитию.

В настоящее время нанотехнологии в России представлены главным образом производством катализаторов, которое оценивается в 400 млн долл. США, мембран – 13 млн долл. США, порошков, покрытий и нанокompозитов. По количеству опубликованных с 1994 г. по 2004 г. работ в области нанотехнологий, составляющему 4 % от мирового количества опубликованных в этой области работ, Россия входит в восьмёрку лидирующих стран [13].

Работы по созданию наноматериалов и освоению нанотехнологий проводятся различными научными, образовательными и научно-технологическими организациями России. Исследования по разработке методов промышленного производства различных наноструктурированных материалов, наночастиц и нанопорошков на основании использования процессов газофазного синтеза ведут Институт электрофизики УрО РАН (г. Екатеринбург) (получение нанопорошков оксидов металлов лазерным испарением), Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (г. Томск) (создание технологии плазменного нанесения наноструктурированных покрытий), Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН (г. Новосибирск) (разработка методов механохимического синтеза наноматериалов). В исследованиях по применению наноматериалов и систем пониженной размерности в информационных, телекоммуникационных и вычислительных системах выделяются следующие институты РАН: Физико-

технический им. А.Ф.Иоффе (г. Санкт-Петербург), Физический (г. Москва), Радиотехники и электроники (г. Москва), Физико-технологический (г. Москва), Общей физики им. А.М.Прохорова (г. Москва), СВЧ полупроводниковой электроники (г. Москва), Физики микроструктур (г. Нижний Новгород), Физики твёрдого тела (г. Черноголовка), Физики полупроводников (г. Новосибирск) и др. В разработке технологий по созданию гетероструктурных приборов, в том числе полупроводниковых лазеров, гетероструктурных фотоприёмников, гетероструктурных сверхскоростных транзисторов с двухмерным электронным газом в канале и одноэлектронных работающих при комнатной температуре транзисторов участвуют Физико-технический им. А.Ф.Иоффе (г. Санкт-Петербург), Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Институт радиотехники и электроники РАН (г. Москва), Институт физики полупроводников СО РАН (г. Новосибирск). В работах по созданию различных приборов и установок с целью изучения свойств и структур объектов нанотехнологии лидируют Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе (получение полупроводниковых инжекционных лазеров, высокоэффективных солнечных батарей и сверхъярких светодиодов), Институт кристаллографии им. А.В.Шубникова РАН (г. Москва), Курчатовский научный центр (г. Москва), Институт ядерной физики (г. Новосибирск) (использование в исследованиях синхротронного излучения), Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН (г. Москва), ГНЦ ГНИИ Физических проблем им. Ф.В.Лукина (г. Москва), ЗАО «НТ-МТД» (г. Зеленоград) (разработка сканирующих зондовых, туннельных и атомно-силовых микроскопов), Институт физики полупроводников СО РАН (г. Новосибирск), Научно-исследовательский технологический институт (г. Рязань), Российский материаловедческий центр (г. Томск) (производство многокамерных установок молекулярно-пучковой эпитаксии). В исследованиях в области медицины, генетики и экологии выделяются Институт молекулярной биологии РАН (г. Москва), Государственный научно-исследовательский институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов (г. Москва) и др. [6, 14].

Научный уровень отечественных исследований и разработок в области нанотехнологий по оценкам экспертов соответствует мировому [11]. Для освоения нанотехнологий Россия располагает достаточным научным потенциалом, но для сохранения и укрепления её позиций в будущем необходимо проведение ряда мероприятий по формированию кадрового потенциала [1, 3, 6, 15]. По оценкам экс-

пертов для развития мировой науки к 2015 г. потребуется не менее 2-3 млн специалистов в области нанотехнологий [11]. В соответствии с приказом Минобрнауки РФ от 29.01.2004 г. № 71 в ряде крупнейших российских вузов, в числе которых Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, Московский институт электронной техники, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И.Ульянова (Ленина), Новосибирский государственный технический университет, Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского и Таганрогский государственный радиотехнический университет, начата подготовка дипломированных специалистов по направлению «Нанотехнология» по двум специальностям «Наноматериалы» и «Нанотехнологии в электронике». В соответствии с приказом Минобрнауки РФ от 23.04.2004 г. № 1922 в порядке эксперимента начата подготовка бакалавров и магистров по направлению «Нанотехнология» в 19 вузах России, в числе которых Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, Московский государственный институт электронной техники, Московский государственный институт электроники и математики, Московский государственный институт стали и сплавов (технологический университет), Московская академия тонкой химической технологии им. М.В.Ломоносова, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И.Ульянова (Ленина), Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Новосибирский государственный технический университет, Воронежский государственный университет и др.

В настоящее время Россия и ведущие в этой области страны по научному уровню исследований в области нанотехнологий находятся в приблизительно равных условиях, обусловленных имеющимися научными заделами. Однако доля России на мировом рынке наукоёмкой продукции, значительная часть которой может быть основана на использовании нанотехнологий, составляет 0,3-0,5 %, в то время как Японии – 32 % и США – 36 %. Аналогичное соотношение можно отметить также по финансированию способствующих созданию наукоёмкой продукции исследовательских работ в области нанотехнологий. По оценкам экспертов, реализация научных разработок в области нанотехнологий в виде конкретной наукоёмкой продукции в промышленных масштабах ожидается к 2015 г. Мировой рынок nanoиндустрии, по оценкам Lux Research, к этому году может составить 2,6 трлн долл. США [13]. Следовательно, России необходимо увеличение фи-

нансирования развития nanoиндустрии до нескольких сотен миллионов долларов США в год и обеспечение создания законодательной базы, способствующей проведению научно-исследовательских работ в области нанотехнологий.

ВЫВОДЫ

Проведена оценка современного состояния нанотехнологий в мире по следующим критериям: количество зарегистрированных патентов, количество опубликованных работ и инвестируемые средства. В соответствии с данными критериями мировыми лидерами в области нанотехнологий являются США, Япония, страны ЕС и Китай. Определены лидирующие области nanoиндустрии и доминирующие тенденции её развития. Прогнозируется рост производства наукоёмкой продукции, основанной на использовании нанотехнологий. Научный уровень исследований в области нанотехнологий в России соответствует мировому, но для повышения уровня её конкурентоспособности и равноправной интеграции в мировую экономику необходимо увеличение финансирования на осуществление научно-исследовательских работ, создание регулирующей деятельности в этой области законодательной базы и проведение мероприятий по формированию и сохранению научного и кадрового потенциалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лучинин В.В. Научно-образовательный базис nanoиндустрии / В.В. Лучинин, Г.К. Сафаралиев // Петербургский журнал электроники. – 2001. – № 4. – С. 6-11.
2. Лучинин В.В. Nanoиндустрия – базис новой экономики / В.В. Лучинин // Петербургский журнал электроники. – 2003. – № 3. – С. 3-12.
3. Карабасов Ю.С. Наноматериалы и нанотехнологии в МИ-СиС / Ю.С. Карабасов, М.В. Астахов // Изв. вуз. Чёрная металлургия. – 2005. – № 10. – С. 3-5.
4. Шевченко В.Я. О терминологии: наночастицы, наносистемы, нанокompозиты, нанотехнологии / В.Я. Шевченко // Микросистемная техника. – 2004. – № 9. – С. 2-4.
5. Путилов А.В. О концепции инновационного развития результатов работ в области наноматериалов и нанотехнологий / А.В. Путилов // Микросистемная техника. – 2003. – № 10. – С. 22-27.

6. Асеев А.Л. Наноматериалы и нанотехнологии / А.Л. Асеев // Микросистемная техника. – 2005. – № 3. – С. 2-11.
7. Проект Программы развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий и наноматериалов до 2015 г. – М. : Изд-во Совета Федерации, 2006. – 25 с.
8. Белянчиков Л.Н. Современные наноматериалы и нанотехнологии – ключ к техническому прогрессу / Л.Н. Белянчиков // Изв. вуз. Чёрная металлургия. – 2002. – № 11. – С. 39-47.
9. Алексеенко А.Г. Наноиндустрия и микросистемы / А.Г. Алексеенко // Микросистемная техника. – 2001. – № 12. – С. 38-41.
10. Вернер В.Д. Организация формирования и реализации национальных и региональных программ по микросистемам и нанотехнологии / В.Д. Вернер, П.П. Мальцев, И.А. Пурцхванидзе // Микросистемная техника. – 2002. – № 12. – С. 9-11.
11. Материалы «Круглого стола» на тему: «Нанотехнологии – радиоэлектронному и авиационно-космическому комплексу». – М. : Конгресс-центр ТПП РФ, 2005. – 24 с.
12. Торгово-промышленная палата Российской Федерации [Электронный ресурс] / Аналитические материалы Комитета ; разр. РБК СОФТ. – Электрон. дан. – М. : ТПП РФ, 2002 – . – Режим доступа: <http://tpprf.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
13. Национальный информационный центр по науке и инновациям [Электронный ресурс] / Российская наука и инновации инвесторам и общественности ; разр. Metric. – Электрон. дан. – М. : Нац. инф. центр, 2005 – . – Режим доступа: <http://scienceref.ru>, свободный. – Загл. с экрана.
14. Путилов А.В. О развитии работ в России в области наноматериалов и нанотехнологий / А.В. Путилов // Микросистемная техника. – 2003. – № 9. – С. 2-5.
15. Алексеенко А.Г. Концерн «Наноиндустрия» и проблемы подготовки кадров / А.Г. Алексеенко [и др.] // Микросистемная техника. – 2001. – № 10. – С. 44-46.

УДК 669.046

В.В. Руднева

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

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ И СТРУКТУРЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ С НАНОРАЗМЕРНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Исследованы условия электроосаждения и структура композиционных покрытий с наноразмерными порошками. Показана возможность достижения ряда положительных эффектов, в том числе параметрического, концентрационного и структурного, проявляющегося в формировании однородной мелкозернистой структуры, уменьшении внутренних напряжений, трещиноватости (для хрома).

Peculiarities of forming and structure of plating composition covering nickel, chromium – nanodimension powder of refractory compounds (silicon carbide, chromium boride) are investigated. It is determined, that fine structure of covering, its porosity and fissuring decrease, hardness, deterioration and corrosion resistance increase concurrent with electrolyte productivity increase are provided by modifier's nanocondition.

В технологии композиционных электрохимических покрытий (КЭП) кристаллизация металла (никеля, хрома, железа, меди и др.) осуществляется из электролитов - суспензий, содержащих в качестве добавки так называемую упрочняющую фазу (наполнитель или модификатор), представляющую собой, как правило, вещество в порошкообразном состоянии, частицы которого включаются в формирующуюся на поверхности изделия металлическую матрицу. Благодаря включению частиц в покрытие его эксплуатационные свойства повышаются, что позволяет с помощью КЭП успешно решать многие практические задачи по поверхностному упрочнению конструктивных деталей и инструментальной оснастки и восстановлению их быстроизнашивающихся частей.

При выборе упрочняющей фазы в большинстве случаев предпочтение отдается алмазу и кубическому нитриду бора, тугоплавким, твердым, износ- и окалиностойким оксидам, карбидам, боридам, нитридам, силицидам и их композициям. При этом просматривается четкая тенденция к необходимости повышения ее дисперсности. Это

обстоятельство предопределяет постоянное стремление специалистов, работающих в области технологии КЭП, к использованию в качестве второй фазы материалов высокой дисперсности. Однако в настоящее время потребность в подобных материалах удовлетворяется в основном за счет использования особо тонких микропорошков (МП) абразивного назначения, обычно зернистостью $M1...10$, или высокодисперсных материалов керамической технологии. Такая упрочняющая фаза, средний размер частиц которой соизмерим с размером зерна металлической матрицы покрытия, составляющим обычно 5-20 мкм, заметно повышает твердость, износостойкость и антифрикционные свойства КЭП на основе металлов группы железа, меди и некоторых легкоплавких сплавов. Однако она не улучшает прочностные характеристики покрытия, снижает их сопротивление коррозионному разрушению, ухудшает жаростойкость и высокотемпературную прочность. Это обусловлено неоднородной деформацией КЭП в результате неравномерного распределения частиц размером более 1 мкм и образованием вокруг них "пластических зон", а также повышенной пористостью композиционных осадков и водородной хрупкостью. В связи с этим для улучшения характеристик КЭП необходимо повышать уровень дисперсности упрочняющей фазы и в пределах использовать ее с такими частицами, размер которых существенно меньше размера зерна матрицы. Это позволило бы, во-первых, улучшить качество электрохимических осадков за счет повышения адгезии к подложке, снижения пористости и микрошероховатости. Во-вторых, это способствовало бы формированию матрицы с равновесной субзеренной структурой, равномерным и более высоким содержанием частиц. В-третьих, это позволило бы повысить уровень физико-механических свойств покрытий в результате реализации эффекта дисперсионного твердения и снижения внутренних напряжений. В-четвертых, это позволило бы расширить технологические возможности процесса получения КЭП из-за незначительной седиментации наноразмерных частиц (НЧ) в электролитах - суспензиях и повышенной адсорбции ионов и других добавок.

Однако лишь в конце 80-х годов прошлого столетия благодаря проводимым Сибирским отделением РАН и СибГИУ исследованиям по генерации низкотемпературной плазмы и плазмометаллургическому синтезу тугоплавких соединений, результатом которых явилось производство оксидов, карбидов, боридов и их композиций сначала в лабораторных, а затем опытно-промышленных масштабах, были созданы условия для апробирования и в дальнейшем промышленного ос-

воения наноразмерных наполнителей КЭП, т.е. порошковых материалов с размером частиц 0,01-0,1 мкм.

Опробование в процессах композиционного никелирования и хромирования в качестве второй фазы наноразмерных порошков нитридов ниобия, тантала, титана, карбида кремния со средним размером частиц 0,04-0,1 мкм, в целом подтвердило технологические преимущества наноразмерных порошков и более высокие коррозионно-механические свойства получаемых покрытий. Так, установлено, что повышение твердости покрытий на 20-40 % сопровождается повышением износостойкости в 1,5-3,0 раза. Наряду с этим анализ полученных результатов позволяет сформулировать требования к материалам для композиционного упрочнения, выполнение которых обеспечивает в полной мере реализацию преимуществ их наноразмерного состояния:

- предельно достижимый уровень дисперсности, обычно не превышающий в настоящее время 0,01-0,08 мкм, предопределяющий создание микроравномерного распределения частиц в матрице, устойчивость суспензий, из которых происходит осаждение покрытий и наиболее полное проявление частицами активности (химического взаимодействия с матрицей, развития диффузионных процессов, упрочнения материала и повышения его коррозионной стойкости);

- форма частиц, близкая к сферической, способствующая формированию покрытий с минимальными внутренними напряжениями;

- однородность по фазовому составу, определяющая идентичность поведения частиц в электролите и покрытии, локальную воспроизводимость эксплуатационных свойств покрытия;

- однородность по химическому составу, предполагающая минимальное содержание примесей, в первую очередь металлов, свободного углерода и бора: выявлены не всегда преодолимые технологические трудности, возникающие при использовании наноразмерных порошков карбида кремния с повышенным содержанием свободного углерода и карбонитрида титана, содержащего избыточное количество нитридообразующего элемента;

- состояние поверхности частиц (газонасыщенность, наличие оксидных пленок и т.д.), оказывающее существенное влияние на развитие в электролите-суспензии таких негативных процессов, как жидкостная коалесценция;

- высокая коррозионная устойчивость, обеспечивающая постоянство состава суспензий и технологических параметров электроосаждения;

– высокая термоокислительная устойчивость, обеспечивающая такую важную эксплуатационную характеристику покрытия, как окислительная стойкость: так, низкая термоокислительная устойчивость алмазных порошков, синтезированных при ударном сжатии, ограничивает производительность штампового инструмента, упрочненного композиционным материалом хром - алмаз;

– экологическая чистота порошков, предполагающая минимальное при их использовании газовыделение вредных соединений (хлора, цианистых соединений, борводородов и других), образующихся при синтезе наноразмерных порошков и активно сорбируемых ими.

Особенности электроосаждения КЭП с наноразмерными порошками (НП)

Особенности электроосаждения КЭП исследовались на электролитах никелирования и хромирования, содержащих НП карбида кремния и борида хрома и их микропорошки (МП) с размером частиц менее 5 мкм, следующих составов:

– электролит никелирования (I) для получения КЭП Ni- CrB₂ кг/м³: никель серноокислый (семиводный) 245, натрий хлористый 20, борная кислота 30, натрий фтористый 2;

– электролит никелирования (II) для получения КЭП Ni - SiC, кг/м³: серноокислый никель (семиводный) 245, хлористый никель (шестиводный) 30, х-аминоуксусная кислота 20;

– электролит хромирования для получения КЭП Cr - SiC, кг/м³: хромовый ангидрид 250, серная кислота 3, хром трехвалентный 8.

Сравнение полученных данных показывает, что введение НП в электролиты приводит к изменению таких технологических параметров электроосаждения, как допустимая катодная плотность тока и концентрация НП в электролите и покрытии.

Действительно, введение НП в электролиты способствует возрастанию допустимой катодной плотности тока, отмечаемому практически всеми исследователями и обусловленному, по-видимому, стабилизацией значений рН в прикатодном слое при введении в электролит второй фазы. Так, например, для электролитов никелирования установлен следующий характер изменения катодной плотности тока в зависимости от дисперсности наполнителя:

(1,0 кА/м²) → МП SiC (1,5-2,0) → НП SiC (3,0-4,0)

(0,5 кА/м²) → МП CrB₂ (0,7) → НП CrB₂ (1,0)

Благодаря этому электролиты с наноразмерными порошками более производительны, что делает их перспективными для получения композиционных покрытий больших толщин, необходимых для эксплуатации в условиях повышенного износа и восстановления изношенных поверхностей. Установлено также, что в присутствии наноразмерных порошков насыщение покрытия частицами ультрамалых размеров происходит при меньшем их массовом содержании в покрытии и концентрации в электролите и не сопровождается снижением микротвердости (таблица 1).

Подобное явление обусловлено резким возрастанием числа ультрамалых частиц в единице объема и достижением в связи с этим дисперсионного твердения металлической матрицы. Наблюдаемое некоторое снижение содержания упрочняющей фазы в покрытии с ростом концентрации порошков в электролите обусловлено развитием при высоких концентрациях процессов нетермической коалесценции и коагуляции ультрамалых частиц.

Таблица 1 – Зависимость содержания упрочняющей фазы (а) и микротвердости (Н) КЭП* от концентрации НП и МП в электролите

Концентрация НП, МП в элек- тролите, кг/м ³	а, % мас./Н, ГПа			
	Ni – НП CrB ₂	Ni – МП CrB ₂	Ni – НП SiC	Ni – МП SiC
1,0	0,4/2,75	0,4/2,5	0,45/6,2	0,52/5,0
3,0	0,7/3,8	0,5/2,75	0,5/6,4	0,6/5,3
10,0	0,70/4,7	0,75/2,9	0,7/7,8	0,8/5,7
20,0	0,70/4,7	1,15/3,2	0,9/8,4	1,3/6,2
30,0	0,72/4,75	1,5/3,5	1,1/9,0	1,75/6,4
40,0	0,72/4,8	1,65/3,5	1,15/8,8	2,2/6,5

* Условия электроосаждения: КЭП Ni – НП, МП CrB₂ - катодная плотность тока 0,5 кА/м², рН 0,5, Т = 323 К. КЭП Ni – НП, МП SiC – катодная плотность тока 2,5 кА/м², рН 2,2, Т = 323 К.

Структура КЭП с НП

В системе Ni - НП материал композиционного осадка начинает формироваться непосредственно в электролите, о чем свидетельствует наличие на внешней оболочке частиц, взвешенных в электролите, тонкого слоя металла, увеличивающего радиус частиц более чем в 2 раза. В дальнейшем малый радиус частиц и большое отношение площади к массе частиц вызывает более легкое заращивание их в никелевой матрице. При этом влияние подповерхностных дефектов - центров адсорбции и кристаллизации металла возрастает, т.к. эффективность влияния далекодействующих напряжений на частицы малого радиуса выше.

Ультрамалые частицы прочнее, чем крупные, прикрепляются к поверхности, легче и равномернеерастают в осадок. Предпочтительными местами закрепления являются границы зерен и границы раздела феррит - цементит в перлитных колониях. При удалении от подложки частицы прикрепляются к уже вросшим в осадок включениям, в результате чего образуются своеобразные цепочки, ориентированные нормально к поверхности. В системе Cr - НП включение частиц в хромовые покрытия происходит в основном на границах субзерен и в местах развития микротрещин.

В композиционных материалах на основе никеля в присутствии ультрамалых частиц формируется однородная мелкозернистая структура, в которой зерна осадка ориентированы нормально к подложке и характеризуются отношением диаметра (0,5-0,8 мкм) к длине 0,25-0,50. Тонкое строение композиционного материала Ni - НП характеризуется наличием большого количества двойников, микроискаженностью решетки никеля и отсутствием зон пластической деформации, формирующихся в композиционном материале с микропорошковым наполнителем вблизи частиц, достигающих размера, в 5-6 раз превышающего размер частиц, имеющих ячеистую субструктуру с повышенной плотностью дислокаций ($\sim 10^{11} \text{ см}^{-2}$) и нестабильные физико-механические свойства. В композиционных материалах с наноразмерным наполнителем отмечается также значительное снижение внутренних напряжений (таблица 2).

Тонкое строение композиционных материалов, формируемых в системе Cr - НП (до 1 об. %), характеризуется клубковой дислокационной структурой, в которой рядом расположены области с высокой и низкой плотностью дислокаций. Повышение количества частиц в покрытии приводит к трансформации дислокационной структуры в

ячеистую, в которой объемная область кристаллов с низкой плотностью дислокаций окружена стенками ячеек с высокой плотностью. Такая эволюция дислокационных процессов обусловлена генерацией новых дислокаций в процессах зарастивания частиц в хромовой матрице, которые затем в ходе дальнейшего прикрепления частиц вступают во взаимодействие одна с другой и образуют характерную дислокационную структуру.

Таблица 2 – Зависимость внутренних напряжений от толщины слоя композиционного материала

Толщина слоя, мкм	Внутренние напряжения, МПа					
	Ni (I)	Ni – НП CrB ₂	Ni – МП CrB ₂	Ni (II)	Ni – НП SiC	Ni – МП SiC
5	5,76	3,87	9,72	3,22	2,65	3,61
10	3,06	1,63	7,06	2,65	2,21	3,35
20	1,49	0,66	3,44	2,25	1,61	3,23
30	0,72	0,41	1,36	1,92	1,23	3,09
40	0,53	0,29	1,07	1,08	0,64	2,57

Вблизи ультрамалых частиц обнаруживаются двойники и дислокационные стенки, направленные радиально поверхности частиц. Включение частиц в хромовые осадки приводит к измельчению зерна в 10-15 раз и резкому уменьшению трещиноватости. Отсутствие в покрытиях протяженных длинных трещин связано с тем, что условия зарастивания частиц на фронте растущих кристаллитов связаны с неэквипотенциальностью поверхности. И в том случае, когда напряженность растущего кристаллита выше вследствие возникновения в нем микротрещин, количество зарастиваемых частиц в этом кристаллите повышается. Аналогичная ситуация складывается на острие растущей трещины, где возникает зона пластической деформации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сочетание наноразмерного состояния с направленно сформированным комплексом свойств используемых в технологии КЭП карбидов и боридов обеспечивает при использовании их в качестве модифицирующей электроосаждаемую металлическую матрицу фазы ус-

тойчивое достижение целого ряда положительных эффектов, описанных ниже. Из них наиболее важными представляются следующие:

- параметрический, проявляющийся в повышении в 2-3 раза верхнего предела допустимой катодной плотности электроосаждения;
- концентрационный, заключающийся в смещении интервала насыщения металлической матрицы в область более низких концентраций при повышении комплекса триботехнических и антикоррозионных свойств, при этом содержание наполнителя в матрице снижается в 1,5-2 раза, а концентрация его в электролите - в 8-12 раз;
- структурный, выражающийся в формировании однородной мелкозернистой структуры с равномерным распределением частиц, уменьшении внутренних напряжений, трещиноватости (для хрома).

УДК 669.046

В.В. Руднева

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ С НАНОРАЗМЕРНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Исследованы эксплуатационные свойства композиционных электрохимических покрытий с наноразмерными компонентами. Установлено, что при оптимальном сочетании металла основы, нанопорошка и режима электроосаждения возможно получение покрытий двух основных типов: дисперсно-упрочненных с повышенной твердостью, износостойкостью, жаропрочностью и коррозионностойкостью.

Peculiarities of basic properties of plating composition covering nickel, chromium – nanodimension powder of refractory compounds (silicon carbide, chromium boride) are investigated. It is determined, that fine structure of covering, its porosity and fissuring decrease, hardness, deterioration and corrosion resistance increase concurrent with electrolyte productivity increase are provided by modifier's nanocondition. Technological recommendations for composition covering application are developed.

Исследование электроосаждения и структуры композиционных электрохимических покрытий (КЭП) с наноразмерными порошками (НП) карбида кремния и диборида хрома подтвердило возможность достижения целого ряда положительных технологических и структурных эффектов, проявляющихся в повышении в 2-3 раза допустимой катодной плотности электроосаждения, насыщении металлической матрицы при меньшем в 8-12 раз содержании наполнителя в электролите, формировании однородной мелкозернистой структуры покрытия.

Целью настоящей работы явилось исследование эксплуатационных свойств КЭП с НП SiC и CrB₂: твердости, сопротивления износу и коррозии в жидких и газовых средах.

Эксплуатационные свойства КЭП с НП

Микротвердость композиционных материалов с наноразмерным наполнителем на основе никеля, хрома и меди в 1,40-1,90 раза выше,

чем у чистых металлов, и в 1,10-1,20 выше по сравнению с композиционными материалами с микропорошками, причем во всех случаях величина микротвердости повышается с увеличением содержания частиц в композиционном материале. Повышение твердости связано с высокой эффективностью ультрамалых частиц как барьеров распространения дислокаций при индентировании, поскольку в процессе образования композиционных материалов они окружены ростовыми дислокациями. Наиболее значительное повышение микротвердости отмечается у композиционных материалов на основе никеля и обусловлено тем, что наблюдаемое в его структуре множественное двойникование вызывает рост эффективности барьеров распространения пластической деформации, в результате чего твердость материала резко возрастает.

Существенное отличие защитной способности композиционных материалов с частицами разной дисперсности связано с различным их напряженным состоянием, а также с предотвращением вследствие геттер-эффекта водородного растрескивания металла на границе раздела частица - матрица в композиционном материале Ni - НП. Внутренние напряжения минимальны в композиционных материалах с наноразмерным наполнителем, в 1,5-2,0 раза выше в чистых металлах и максимальны в композиционных материалах с микропорошками. Также закономерно в этих материалах изменяется величина коррозионных токов (таблица 1), измеряемых между слоем композиционного материала и стальной основой: при толщине слоя 40 мкм токи коррозии для материала Ni - НП в 12,8-14,0 и 2,6-4,8 раза ниже, чем соответственно у материалов Ni - НП и чистого никеля, что свидетельствует об образовании практически беспористых композиционных материалов, обеспечивающих высокие защитные свойства. Это подтверждается также результатами исследования термоокислительной устойчивости на воздухе композиционных материалов Ni - НП.

Жаростойкость композиционного материала, содержащего наноразмерный порошок диборида хрома, значительно превосходит жаростойкость никелевой матрицы. Увеличение массы никелевых образцов через 1,5 часа при температуре 873 К в 4,12, при 973 К в 5,07 и при 1073 К в 2,43 раза больше, чем для композиционного материала Ni – НП CrB₂. Это можно объяснить образованием на поверхности образцов сплошной защитной оксидной пленки, приводящей к снижению скорости окисления.

Таблица 1 – Зависимость коррозионных токов от толщины слоя композиционного материала

Толщина слоя, мкм	Токи коррозии, мкА/см ²					
	Ni (I)	Ni – НП CrB ₂	Ni – МП CrB ₂	Ni (II)	Ni – НП SiC	Ni – МП SiC
5	0,179	0,086	0,304	0,092	0,015	0,135
10	0,161	0,072	0,265	0,062	0,012	0,090
20	0,139	0,043	0,205	0,038	0,010	0,075
30	0,103	0,019	0,173	0,020	0,008	0,070
40	0,059	0,013	0,167	0,013	0,005	0,070

Включение ультрамалых частиц в никелевые и хромовые матрицы снижает интенсивность их изнашивания в зависимости от содержания наноразмерного порошка соответственно в 1,5-2,0 и 2,0-2,5 раза. Значительное повышение износостойкости материала Cr – НП SiC связано с устранением в структуре слоя возбудителей местной концентрации напряжений – микротрещин, присутствующих в значительных количествах в чистых хромовых слоях. Наряду с этим распространению трещин препятствуют также области композиционного роста осадка. Поэтому увеличение их также приводит к повышению износостойкости материала. Процесс износа в этом случае заключается в упругом отеснении поверхностных слоев матрицы. Присутствие в ней ультрамалых частиц, приводящих к формированию ячеистой субструктуры и затрудняющих перемещение дислокаций, дополнительно упрочняет поверхностные слои материала.

Наряду с описанным выше повышением стойкости металлической основы композиционных материалов против износа и коррозии за счет насыщения ее частицами тугоплавких соединений ультрамалых размеров необходимо отметить еще одно технологическое преимущество наноразмерных наполнителей – высокую диффузионную подвижность ультрамалых частиц, что позволяет использовать для термической обработки КЭП вместо традицион-

ного высокотемпературного (до 1123-1323 К) диффузионного отжига, приводящего часто к нежелательным изменениям структуры материала подложки, скоростной нагрев (до 50-500 К/с) в электролитной плазме или токами высокой частоты до умеренных температур (623-923 К). Подобные режимы термообработки обеспечивают сохранение дефектной структуры металлической матрицы, что ускоряет процесс взаимодействия ее с наполнителем с образованием вторичных упрочняющих фаз и формирование переходного слоя на границе матрица - подложка, значительно повышающего прочность их сцепления.

Технологические рекомендации по формированию и применению КЭП с НП

Анализ результатов комплексных исследований процессов электроосаждения КЭП с НП, структуры и свойств покрытий позволяет сформулировать следующие технологические преимущества, обеспечиваемые использованием наноразмерных частиц тугоплавких карбидов и боридов с направленно сформированными специальными свойствами:

- создание устойчивых во времени электролитов - суспензий;
- комплексный характер воздействия НП на металлическую матрицу, сочетающего одновременное ее армирование и модифицирование;
- возможность формирования при умеренных режимах термообработки (623-923 К) переходного слоя на границе матрица - подложка, значительно повышающего прочность их сцепления;
- расширение области применения КЭП за счет принципиальной возможности поверхностного упрочнения инструмента и оснастки с особо сложным микрорельефом рабочих поверхностей;
- вытеснение в технологии композиционного хромирования штампового инструмента ультрадисперсных алмазных порошков и замена их НП карбида кремния, характеризующегося более высокой термоокислительной устойчивостью;
- возможность внедрения процессов упрочнения и восстановления деталей КЭП с НП без существенной перестройки производства и дополнительных капитальных вложений.

Правильный выбор металла основы, НП и режима электроосаждения позволяет получать КЭП двух основных типов: 1 – дис-

персно-упрочненные с повышенной твердостью, износостойкостью, жаропрочностью; 2 – коррозионностойкие.

Покрытия первой группы используются для упрочнения деталей, работающих на износ в условиях трения скольжения. Так, термообработанные КЭП Ni – НП рекомендуются для упрочнения изнашивающихся деталей, работающих при средних окружных скоростях (1,5-2,5 м/с) и удельных нагрузках 5-6 МПа (валов, втулок, опор скольжения, шпинделей станков и т.д.). Термическую обработку КЭП рекомендуется проводить по режимам, приведенным в таблице 2, учитывающим конкретные условия эксплуатации. Для защиты деталей, работающих на истирание в агрессивных средах (например, прессформ для литья изделий из термопластов, вызывающих коррозию металла, а также нефте- и газопромыслового оборудования) могут быть рекомендованы КЭП на основе хрома с НП. Такие КЭП имеют более высокую по сравнению с никелевыми твердость и износостойкость, пониженный уровень наводороженности и хорошие защитные качества. КЭП Cr - НП SiC отличаются также повышенной стойкостью к высокотемпературной ползучести и окислению.

Покрытия второй группы, применяемые для защитно-декоративной отделки машин и приборов, обычно представлены КЭП на никелевой основе с НП тугоплавких соединений (таблица 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Закономерным следствием особенностей структуры композиционных материалов с наноразмерным наполнителем является улучшение их свойств, проявляющееся в повышении твердости, сопротивления износу и коррозии в жидких и газовых средах. При оптимальном сочетании металла основы, НП и режима электроосаждения возможно получение КЭП двух основных типов: персно-упрочненные с повышенной твердостью, износостойкостью, жаропрочностью и коррозионностойкие.

Таблица 2 – Типы покрытий и режимы их получения, рекомендуемые для определенных условий эксплуатации

Покрытие	Условия эксплуатации	Рекомендуемый режим осаждения и термообработки КЭП						Область применения
		Концентрация НП, кг/м ³	Плотность тока, кА/м ²	Температура электролита, °С	Скорость нагрева, град/с	Температура отжига, °С	Продолжительность отжига, с	
Ni-CrB ₂	Трение без смазки	15-20	0,2-0,4	50	50-100	550-650	30-60	Упрочнение деталей, работающих на износ при средних окружных скоростях и невысоких удельных нагрузках в различных условиях, в т.ч. с особо сложным микро-рельефом рабочих поверхностей.
Ni-ZrB ₂		20-40	1,0-4,0	50	50-100	500-600	20-40	
Ni-TiB ₂		20-50	1,0-4,0	50	50-100	500-600	15-30	
Ni-SiB ₂		20-50	2,0-4,0	50	50-100	650-1000	20-40	
Cr-SiB ₂		7-10	6,0-8,0	50	50-100	650-1050	(7,2-10,0)·10 ³	
Ni-SiC	Трение в коррозионно-активных средах с абразивом, трение без смазки Кислотные, щелочные среды	8-12	2,0-4,0	50	0,1	200-300	7,2·10 ³	Антикоррозионная защита деталей, работающих в агрессивных средах
Ni-CrB ₂	Щелочные среды	10-15	0,2-0,4	50	0,1	200-250	7,2·10 ³	
Ni-ZrB ₂		10-15	1,0-4,0	50	0,1	200-250	7,2·10 ³	
Ni-TiB ₂		10-15	1,0-4,0	50	0,1	200-250	7,2·10 ³	

ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

УДК 669.14 621.17 539.4

А.Б. Юрьев, А.В. Громова

ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»

ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ ПРОВОЛОКИ

В работе методами современного физического материаловедения выполнен анализ изменения механических свойств, структуры, фазового состава и дислокационных субструктур при холодном волочении проволоки марки Св08Г2С. Показано, что с увеличением степени деформации возрастают прочностные свойства, уменьшается содержание перлитной составляющей, формируются деформационные полосы и ячеисто-сетчатая и сетчатая дислокационная субструктуры. Дальнейшие поля напряжений источниками, которых являются внутрифазные и межфазные границы, имеют сложный характер.

Reinforcement rolled metal is the most important element of reinforced concrete structures. The essential condition of structure phase state formed in reinforcement rod production is long stability of rated standard characteristics of strength, plasticity, corrosion resistance, weldability and cohesion with concrete. However, failures resulting in structure and properties degradation have been accumulating in foundation blocks reinforcement of buildings and structures with time. The aim of the present work is to reveal the changes of mechanical characteristics, phase composition and defect substructure of hot rolled reinforcement rods from low alloy steel in the work process as foundation blocks reinforcement of industrial buildings and structures with long service life

В процессе холодной пластической деформации волочением металлы и сплавы упрочняются [1-3]. Требуемый комплекс свойств на стадии метизного передела достигается изменением степени деформации, скорости волочения и термической обработкой. Разработка новых технологических карт производства стальной проволоки требует знания закономерностей изменения структурно – фазовых состояний и дефектной субструктуры стали в процессе волочения. В настоящей работе излагаются результаты исследований формирования механических свойств и изменения структуры и фазового состава низкоуглеродистой слаболегированной стали марки Св08Г2С по ГОСТ 2246 при волочении.

Материалом исследований являлась катанка 6,5 мм по ТУ 14-1-2203 и полученная из неё волочением со скоростью 6 м/с по маршруту 6,5→5,5→4,7→4,1→3,5 проволока. Методики измерения микротвердости, механических испытаний и металлографических исследований – традиционные [4,5]. В качестве параметров, характеризующих дефектную субструктуру стали и состояние карбидной фазы, использовали скалярную и избыточную плотность дислокаций, величину кривизны-кручения кристаллической решетки, средние размеры элементов дислокационной субструктуры (ячеек, фрагментов, полос деформации и субзерен) и их относительное содержание в материале, степень азимутальной разориентировки субструктуры стали, средние размеры частиц карбидной фазы. Фазовый состав стали анализировали путем индирования микроэлектроннограмм. Идентификацию фаз осуществляли методом темнопольного изображения. Определение параметров дефектной субструктуры и индирование микроэлектроннограмм проводили, используя хорошо апробированные методики [6-8].

В исходном состоянии исследуемая сталь являлась поликристаллическим агрегатом, состоящем из зерен феррита и зерен пластинчатого перлита средних размеров 28 и 17 мкм, соответственно. В стыках и вдоль границ зерен феррита в незначительном количестве располагаются частицы цементита субмикронных размеров.

В процессе волочения происходит деформационное упрочнение материала путём изменения структурно-фазовых состояний (табл. 1), при этом величины микротвердости и предела прочности возрастают.

Таблица 1 – Механические свойства проволоки из стали Св08Г2С

Профиль	Механические свойства		Соотношение феррит/перлит, %
	σ_B , МПа	H_c , ГПа	
катанка диаметром 6,5 мм	560	2,12	75/25
проволока диаметром 5,8 мм	654	2,41	75/25
проволока диаметром 3,5 мм	950	2,55	88/12

Одновременно с этим изменяется и относительное содержание зерен перлита, что свидетельствует о разрушение перлитной структуры стали. Ферритные зерна исходного материала характеризуются невысо-

кой скалярной плотностью дислокаций ($\rho \sim 1,4 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$), организованных в виде дислокационного хаоса (~87 % объема зерен), сеток (~5 %) и клубков (~8 %). Волочение стали приводит к эволюции дефектной субструктуры, что выражается в замещении дислокационного хаоса сетчатой и ячеисто-сетчатой дислокационной субструктурами.

Анализ структуры стали показывает, что в зернах феррита изгибные экстинкционные контуры формируются у внутрифазных (границы зерен и полос деформации) и межфазных (границы раздела карбид/ α -фаза) границ раздела и их стыков; имеют весьма разнообразную форму (рисунок 1а). Контуры начинаются и заканчиваются на границах раздела зерен, тем самым указывая на источник полей напряжений (границы раздела кристаллитов α -фазы) и причину их появления – несовместность деформации соседних зерен.

Количественные результаты изменения дислокационных субструктур в феррите приведены в таблице 2. Отчетливо видно, что с увеличением степени деформации структура дислокационного хаоса замещается полосовой. На завершающей ступени деформации стали начинает формироваться субзеренная структура, частично замещающая структуру полос деформации.

Таблица 2 – Изменение дислокационных субструктур при волочении

Профиль	Параметры ДСС		Объемные доли ДСС				
	$\rho, 10^{10} \text{ см}^{-2}$	$\chi, 10^3 \text{ рад/см}$	суб-зерна	полосы деформации	ячеисто-сетчатая	сетчатая	хаотическая
катанка Ø 6,5 мм	1,4	0,2	-	-	0,08	0,05	0,87
проволока Ø 5,8 мм	4,8	1,3	0,02	0,47	0,12	0,14	0,25
проволока Ø 3,5 мм	4,5	1,1	0,130	0,64	0,11	0,12	-

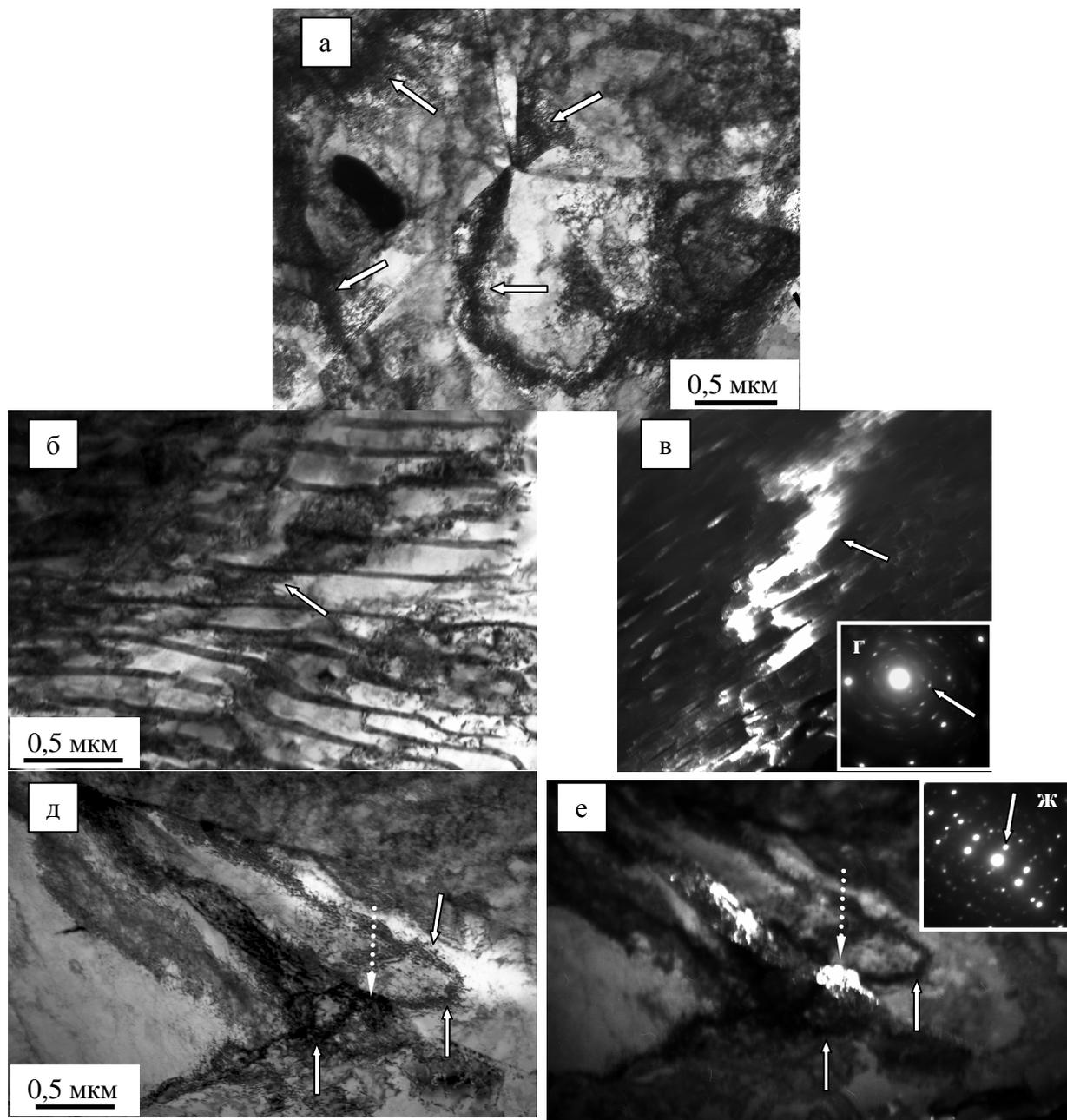


Рисунок 1 – Электронно-микроскопическое изображение изгибных экстинкционных контуров (указаны сплошными стрелками), а) зерна феррита; б, в) структура пластинчатого перлита; б – светлое поле; в – темное поле в рефлексе $[110]\alpha\text{-Fe}$; г – микроэлектронграмма к (б); д, е) глобулярные частицы цементита; д – светлое поле; е – темное поле в рефлексе $[110]\text{Fe}_3\text{C}$; ж – микроэлектронграмма к (д). Пунктурными стрелками указаны на (д, е) частицы цементита.

Сетчатая и ячеисто-сетчатая дислокационные субструктуры находятся в динамическом равновесии, объемная доля их практически не зависит от степени деформации прутка.

Количественный анализ состояния изгибных экстинкционных контуров показал, что средние поперечные размеры их в зернах феррита составляют ~ 120 нм, что соответствует кривизне-кручению кристаллической решетки $\chi \sim 1,3 \cdot 10^3$ рад/см (методика оценки величины кривизны-кручения кристаллической решетки и амплитуды, дальнедействующих полей напряжений подробно рассмотрена в [1]). Следуя [1], находим величину избыточной плотности дислокаций $\rho_{\pm} \sim 5,8 \cdot 10^{10}$ см⁻², что близко к величине скалярной плотности дислокаций в стали, т.е. имеет место упруго-пластический изгиб материала. Оценки амплитуды остаточных дальнедействующих полей напряжений, формирующихся в среднем по объему стали при волочении, выполненные в рамках упруго-пластического изгиба, дают значение $\sigma_{\tau} \sim 506$ МПа. Волочение стали до диаметра $\sim 3,5$ мм привело к релаксации дальнедействующих полей напряжений. Последнее отразилось как в снижении величины линейной плотности изгибных контуров (уменьшении количества мест зарождения контуров), так и в увеличении их поперечных размеров. Причиной данному явлению может быть разогрев прутка в процессе волочения.

Еще одним источником дальнедействующих полей напряжений исследуемой стали являются глобулярные частицы цементита, расположенные на границах и в объеме зерен феррита (рисунок 1 д, е). Отчетливо видно, что частица цементита является источником кривизны-кручения кристаллической решетки феррита. Изгибные экстинкционные контуры имеют сложное очертание и переменную толщину. Последнее указывает на градиентный характер поля напряжений, формирующегося в окрестностях частицы цементита. Измерения показывают, поперечные размеры контура вблизи частицы минимальны и составляют ~ 50 нм. По мере удаления от частицы ширина контура увеличивается, указывая, на уменьшение кривизны-кручения кристаллической решетки феррита и амплитуды полей напряжений. Зная толщину изгибного экстинкционного контура, выполним оценки параметров, характеризующих величину остаточных дальнедействующих напряжений. Вблизи границы раздела карбид/матрица величина кривизны-кручения кристаллической решетки $\chi \sim 3,5 \cdot 10^3$ рад/см. Величина избыточной плотности дислокаций $\rho_{\pm} \sim 13,6 \cdot 10^{10}$ см⁻², что заметно превосходит величину скалярной плотности дислокаций в зерне феррита. Следовательно, в объеме материала, прилегающего к глобулам цементита, присутствуют и упругая и пластическая составляющая дальнедействующих полей напряжений. Оценивая величину упругой составляющей остаточных дальнедействующих полей на-

пряжений используя соотношения работы [1], получим значение $\sigma_{\tau} \sim 586,4$ МПа. Величина пластической составляющей остаточных дальнедействующих полей напряжений по оценкам [1] составляет: $\sigma_{\tau} \sim 760$ МПа. Сопоставляя данные результаты с оценками величины остаточных дальнедействующих полей напряжений в ферритных и перлитных зернах, можно заключить, что наиболее напряженными объемами исследуемой стали на промежуточной стадии волочения, могущими привести к преждевременному разрушению прутка, являются объемы α -фазы, содержащие глобулярные частицы цементита субмикронных размеров.

Одновременно с зернами феррита деформационные преобразования при волочении стали протекают и в зернах перлита. Волочение стали сопровождается деформацией и разрушением пластин цементита, протекающих по достаточно хорошо изученным механизмам [1, 2, 9]. На начальной стадии разрушения (при данной степени деформации прутка она возможна лишь для наиболее благоприятным образом ориентированных колоний перлита) пластина цементита сохраняет свою сплошность, но делится на блоки, средние размеры которых, судя по темнопольным изображениям такой структуры, составляют ~ 3 нм (рисунок 2 а). На микроэлектронограммах, соответствующих данному состоянию перлитной колонии, рефлексy, принадлежащие кристаллической решетке цементита, размываются, приобретая дугообразную форму (рисунок 2 б). Последнее указывает на высокую степень азимутальной разориентации отдельных участков пластины, величина которой составляет $\sim 8-10$ град. На поздних стадиях деформации наблюдается существенное уменьшение поперечных размеров пластин и деление пластин на невзаимодействующие части, т.е. нарушение сплошности пластин (рисунок 2 в). Вследствие малой объемной доли цементита на микроэлектронограммах наблюдаются лишь наиболее интенсивные рефлексy карбида (рисунок 2 г). В большинстве анализированных случаев рефлексy карбидной фазы формируют квазиколецевую электронограмму (рисунок 2 г). Последнее указывает на то, что растворение пластин цементита сопровождается их фрагментацией с последующим формированием отдельно расположенных частиц, разделенных большеугловыми границами. Одновременно с растаскиванием частей пластины происходит их растворение с уходом атомов углерода на дислокации и малоугловые границы, образующиеся в процессе деформации стали.

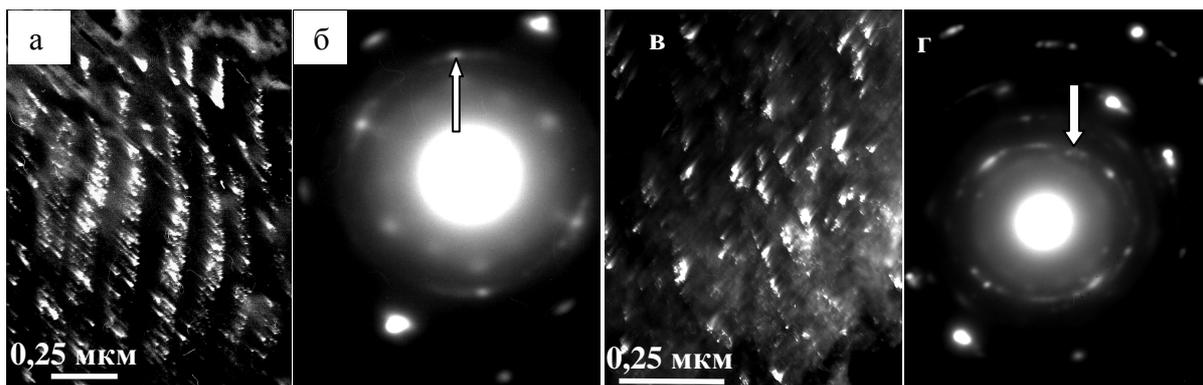


Рисунок 2 – Электронно-микроскопическое изображение структуры перлитного зерна стали марки Св08Г2С; а, в – темные поля, полученные в рефлекса $[031]Fe_3C$ (а) и $[112]Fe_3C$ (в); б, г – микроэлектронogramмы к (а), (в), соответственно (стрелками указаны рефлексы темного поля).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Выполнен количественный анализ изменения механических свойств, структуры, фазового состава и дислокационных субструктур в стали марки Св08Г2С при холодном волочении.

УДК 620.179.16

В.Р. Микрюков, Ю.Ф. Иванов*, А.Б. Юрьев**, С.В. Коновалов,
В.Е. Громов

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

Институт сильноточной электроники СО РАН, г.Томск*

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

ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ВРЕМЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ АРМАТУРЫ

Методом просвечивающей электронной микроскопии установлены механизмы деградации механических свойств горячекатанной арматуры из стали 35ГС в течение длительной эксплуатации.

The mechanisms of the mechanical properties degradation of the hot rolled reinforcement steel (0,35%С, 1%Mn, 1%Si) rods during long service life have been established by transmission electron microscopy method.

Зависимость прочностных свойств сталей и сплавов от времени заложена в самом механизме разрушения, поэтому решение вопроса о временной зависимости тесно связано с решением более общей задачи о физической природе твердых тел. Длительная стабильность механических свойств арматуры фундаментных блоков является основой безопасных сроков службы зданий и сооружений [1]. Однако в процессе длительной эксплуатации в материале могут накапливаться и развиваться дефекты, приводящие к деградации свойств и разрушению с катастрофическими последствиями [2,3]. Одной из причин изменения структурно-фазового состояния материала является коррозия, чаще всего начинающаяся на поверхности металла и проникающая постепенно внутрь [3-5]. Границы зерен, межфазные границы, внутризеренная дислокационная субструктура и другие дефекты кристаллического строения играют определяющую роль в протекании этих процессов. Возможности дифракционной электронной микроскопии позволяют установить механизмы деградации структуры и свойств сталей при длительной эксплуатации и разработать тем самым систему мер по повышению надежности.

Цель настоящей работы – выявление физических механизмов изменений механических свойств и структурно-фазовых состояний горячекатанной арматуры из низколегированной стали в процессе эксплуатации в течение длительных сроков в качестве каркасов фундаментов промышленных зданий и сооружений.

В качестве материала исследования использовалась горячекатанная арматура из стали 35ГС диаметром 14-20 мм, извлеченная из каркасов фундаментных блоков со сроком эксплуатации до 50 лет. Исследования осуществлены методом просвечивающей электронной дифракционной микроскопии (прибор ЭМ 125) [6].

Результаты механических испытаний арматуры приведены на рисунке 1. Видно, что в исходном состоянии и после 7-25 лет эксплуатации сталь соответствует требованиям класса прочности А-III по ГОСТ 5781. После эксплуатации в течение 35 лет прочностные свойства материала находятся на нижней границе требований стандарта, а через 50 лет снижаются до уровня класса А-II. Одновременно с этим резко снижаются и пластические свойства стали. Отметим, что в отдельных случаях величина δ_{\max} стержней, срок эксплуатации которых составлял ~50 лет, не превышала 4 %. Можно предположить, что столь заметное снижение пластических свойств стали связано с существенными изменениями состояния структуры поверхностного слоя стержней, а именно, с формированием в процессе эксплуатации концентраторов напряжений, инициирующих процесс трещинообразования.

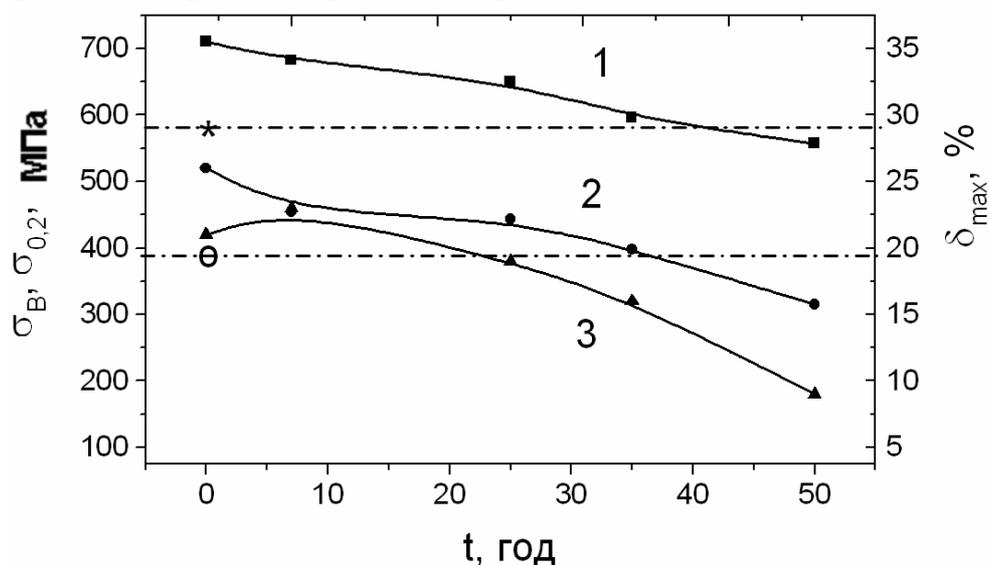


Рисунок 1 – Зависимость величины предела прочности σ_B (кривая 1), предела текучести $\sigma_{0,2}$ (кривая 2) и максимального удлинения δ_{\max} от времени эксплуатации арматуры. Значками «*» и «о» обозначены, соответственно, значения величин σ_B и $\sigma_{0,2}$, отвечающие требованиям ГОСТ 5781 к классу прочности А-III

Наряду с поверхностными дефектами, длительная эксплуатация стали должна сопровождаться изменением состояния приповерхностного слоя прутка, формирующего концентраторы напряжения и в объеме стали.

После 7 лет эксплуатации стали в объеме зерен, вдоль их границ и в стыках границ фиксируются включения второй фазы (рисунок 2). Частицы имеют глобулярную форму, размеры их изменяются в пределах 150-170 нм. Электронно-микроскопический микродифракционный анализ показывает, что данные частицы являются закисью железа (FeO , вюстит). Данные включения являются источниками весьма узких изгибных экстинкционных контуров, средние поперечные размеры которых составляют $h = 45$ нм. Кривизна-кручение кристаллической решетки зерен феррита, содержащих такие частицы, $\chi = 3,88 \cdot 10^3$ рад/см, амплитуда дальнедействующих полей напряжений (в условиях пластического изгиба-кручения кристаллической

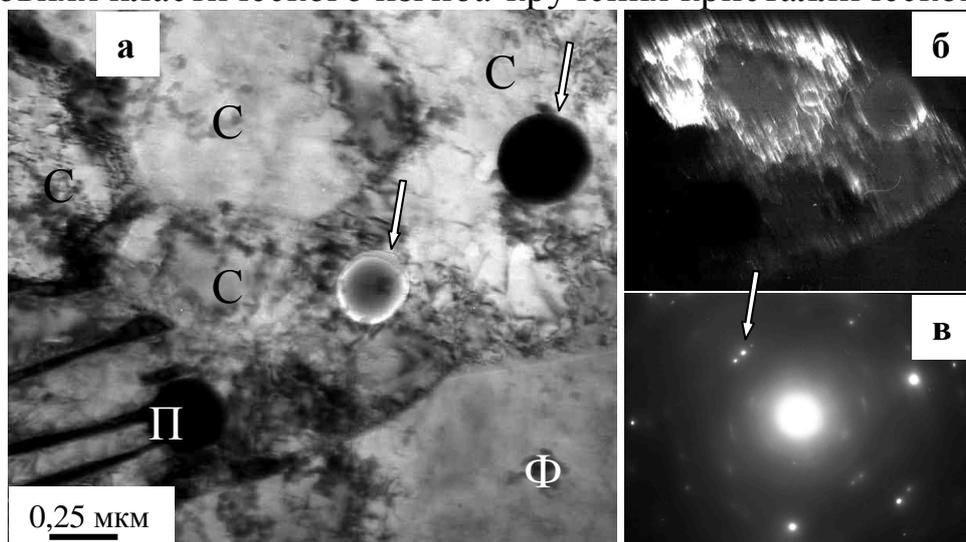


Рисунок 2 – Электронно-микроскопическое изображение субзеренной структуры, формирующейся в стыках зерен феррита и перлита в стали 35ГС, срок эксплуатации – 25 лет. а – светлое поле; б – темное поле, полученное в рефлексе $[112]\alpha\text{-Fe} + [222]\text{FeO}$; в – микроэлектронограмма. Стрелками указаны: на (а) и (б) – частицы окисла FeO ; на (в) – рефлекс темного поля. Ф – ферритные зерна, П – перлитные зерна, С - субзерна.

решетки зерен феррита) $\sigma_\tau = 85$ кг/мм². Для сравнения отметим, что контуры, формирующиеся у границ зерен, соответствуют дальнедействующим полям напряжений, амплитуда которых составляет (24 – 39) кг/мм². Сопоставляя результаты данных оценок с величиной предела прочности σ_B исследуемой стали, можно отметить, что поля на-

пряжений, формирующиеся в объеме материала, содержащего частицы включений второй фазы, способны приводить к формированию микротрещин.

С увеличением срока эксплуатации прослеживается тенденция к повышению разнообразия фазового состава включений – наряду с окислами железа фиксируются и окислы марганца (таблица 1).

Анализ фазового состава стали с учетом формы и места расположения частиц второй фазы показал, что форма включений разнообразна и в большинстве случаев определяется местом их расположения в структуре стали. А именно: включения, расположенные вдоль границ зерен, имеют вытянутую форму и могут быть охарактеризованы величиной коэффициента анизотропии k ($k=L/D$, где L – продольные и D – поперечные размеры включений). Его величина изменяется в пределах от 2,0 до 10, т.е. в материале присутствуют частицы, форма которых изменяется от глобулярной к протяженным прослойкам.

Таблица 1 – Характеристики оксидной и оксикарбидной фаз, формирующихся в горячекатаной арматуре в процессе эксплуатации

Время эксплуатации, год	Фаза					Размеры частиц, нм
	Химический состав	Кристаллическая решетка				
		Тип решетки	Параметры, нм			
			a	b	c	
7	ξ -Fe ₃ O ₄	Fd3m	0,8396			180-200
	(Mn, Fe) ₂ O ₃	Ia3	0,9384			625
25	ξ -Fe ₃ O ₄	Fd3m	0,8396			375-390
	FeCO ₃	R3c	0,5796			500
	(Mn, Fe) ₂ O ₃	Ia3	0,9384			620
	MnO ₂	Pbnm	0,4533	0,927	0,2866	250-300
	γ -Mn ₃ O ₄	14 ₁ /amd	0,575		0,942	700-750
35	FeO	Fm3m	0,4296			185-250
	(Mn, Fe) ₂ O ₃	Ia3	0,9384			500
	γ -Mn ₃ O ₄	14 ₁ /amd	0,575		0,942	300-750
50	Fe ₂ O ₃	Pbnm	0,459	0,497	0,668	~800
	(Mn, Fe) ₂ O ₃	Ia3	0,9384			~1000
	γ -Mn ₃ O ₄	14 ₁ /amd	0,575		0,942	~300

Включения, расположенные в стыках границ зерен, как правило, имеют глобулярную форму, коэффициент анизотропии k которой изменяется в пределах от 1,8 до 2,5. В отдельных случаях удается наблюдать включения, расположенные в стыке границ зерен и имеющие форму растянутого тройного узла.

Анализируя результаты, приведенные в таблице 1, можно отметить, что с увеличением времени эксплуатации средние размеры включений d_{cp} значительным образом увеличиваются. Так, после эксплуатации в течение 7 лет средний по материалу размер включений, выявленных методами электронной микроскопии экстрактивных угольных реплик, составляет $\sim 0,33$ мкм, после эксплуатации в течение 50 лет – $\sim 0,7$ мкм. Кроме этого, было установлено, что частицы окислов железа заметно крупнее частиц окислов марганца.

Включения второй фазы, являясь мощными концентраторами полей напряжений, способствуют формированию в стали микротрещин. Количественный анализ структуры стали показывает, что относительное содержание областей материала с микротрещинами, выявленными на фольгах, подготовленных для электронно-микроскопических исследований, стремительно возрастает с увеличением времени эксплуатации арматуры (рисунок 3).

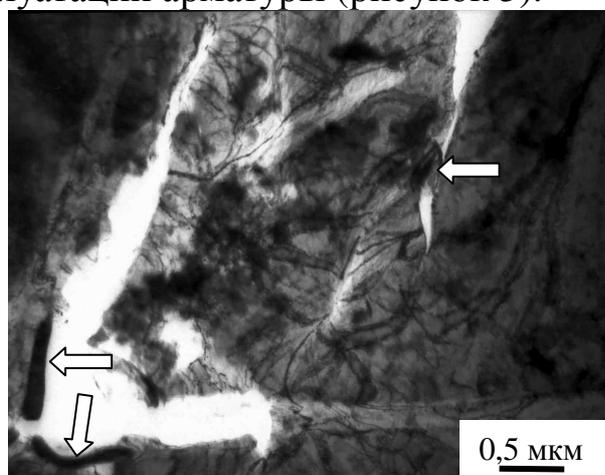


Рисунок 3 – Растрескивание горячекатаной стали после 50 лет эксплуатации. Стрелками указаны включения второй фазы

Включения, расположенные в стыках границ зерен, как правило, имеют глобулярную форму, коэффициент анизотропии k которой изменяется в пределах от 1,8 до 2,5. В отдельных случаях удается наблюдать включения, расположенные в стыке границ зерен и имеющие форму растянутого тройного узла.

Анализируя результаты, приведенные в табл.1, можно отметить, что с увеличением времени эксплуатации средние размеры включе-

ний d_{cp} значительным образом увеличиваются. Так, после эксплуатации в течение 7 лет средний по материалу размер включений, выявленных методами электронной микроскопии экстрактивных угольных реплик, составляет $\sim 0,33$ мкм, после эксплуатации в течение 50 лет – $\sim 0,7$ мкм. Кроме этого, было установлено, что частицы окислов железа заметно крупнее частиц окислов марганца.

Экспериментальные данные прочностных характеристик в изученном временном интервале в полулогарифмических координатах хорошо укладываются на прямолинейную зависимость (рисунок 4).

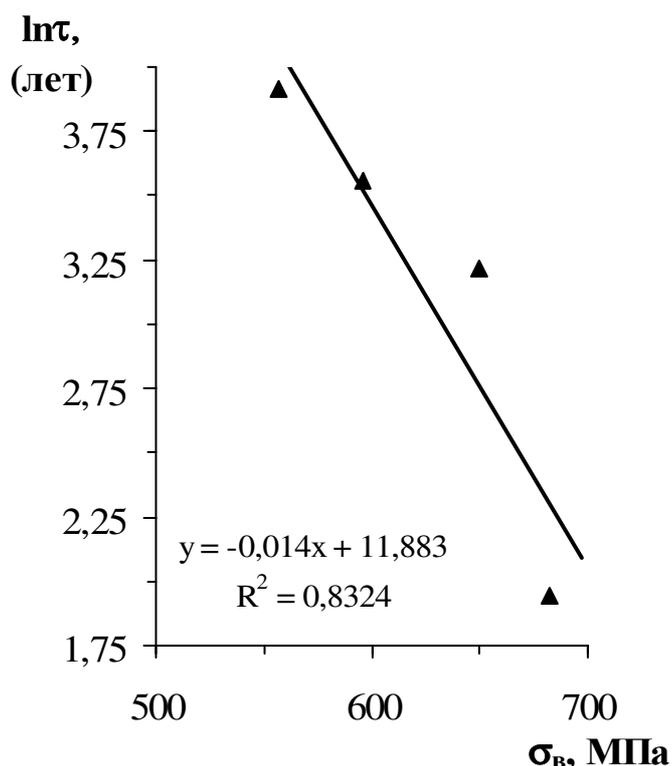


Рисунок 4 – Временная зависимость предела прочности строительной арматуры

В соответствии с временной зависимостью прочности твердых тел [7] изменение долговечности можно представить в виде $\tau = A \cdot \exp\left(-\frac{U - \gamma\sigma}{kT}\right)$, где A – константа, меняющаяся для разных материалов в широких пределах, U – энергия активации, γ – активационный объем. Значение активационного объема $\approx 5 \cdot 10^{-29}$ м³, определенное из экспериментальных данных рис.4 по этому уравнению при $U = \text{const}$, свидетельствует об активационном характере процесса накопления повреждений, установленного выше.

Таким образом, анализ изменения дефектной субструктуры, фазового состава и механических свойств стальной арматуры в процессе длительной эксплуатации позволяет считать, что основной причиной наблюдаемого снижения прочностных свойств является формирование окисной и оксикарбидной фаз в результате проникновения в объем стержней кислорода, приводящее к растрескиванию стали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мадатян С.А. Общие тенденции производства и применения обычной и горячекатанной арматуры // Бетон и железобетон. 1997. №1. С.2-5.
2. Микрюков В.Р., Семин А.П., Иванов Ю.Ф. и др. Деградация структуры и свойств строительной арматуры в процессе эксплуатации // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. 2005. вып.15, с.84-86.
3. Василенко Н.И., Мелехов Р.К. Коррозионное растрескивание сталей. – Киев: Наукова думка. 1977. -265с.
4. Гудков А.А. Трещиностойкость сталей. – М.: Металлургия. 1989. -367с.
5. Кугушин А.А., Узлов И.Г., Калмыков В.В. и др. Высокопрочная арматурная сталь. М.: Металлургия. 1986. -272с.
6. Хирш П., Хови А., Николсон Р.И. и др. Электронная микроскопия тонких кристаллов. М.: Мир. 1968. -427с.
7. Журков С.Н., Нарзуллаев Б.Н. Временная зависимость прочности твердых тел // ЖТФ. 1953. т.23, вып.10, с.1677-1689.

УДК 621.771

В.И. Ворожищев*, В.В. Павлов*, Е.М. Пятайкин*,
В.Н. Перетятыко, Л.В. Филиппова, Е.А. Шур**
ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат»*,
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк,
ВНИИЖТ, г. Москва **

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ Р65

На ОАО НКМК разработана технология производства и прокатаны рельсы высокой эксплуатационной стойкости с повышенным содержанием углерода. Опытные заэвтектоидные объемно закаленные рельсы Р65К превосходят рельсы текущего производства по твердости на поверхности катания и глубине 10 мм от нее, пределу текучести и временному сопротивлению. Относительное удлинение, относительное сужение и ударная вязкость при +20 °С несколько ниже, чем обычных рельсов. Рельсы показали высокое сопротивление износу и их рекомендовано укладывать на горно-перевальных участках железных дорог и в кривых малого радиуса с жесткими условиями эксплуатации.

The technology of rails production was worked out and rails of high working firmness were rolled in joint stock association «Novokuznetck metallurgical plant». Experienced high-carbon volumed tempered rails Р65К are better then rails of re- sent production according to hardness on the surface of rolling and depth 10 mm from it, limit of fluidity and time resistance. Relative lengthening, relative narrowing and percussive ductility at + 20 °С a little lower than the usual rails have. The rails showed high resistance. They are recommended to use on passing-mountain parts of rail-roads and in crooked parts of little radius when condition of exploitation is cruel.

Увеличение нагрузок на ось, скорости движения и массы поездов предъявляют более высокие требования к рельсам. Однако отечественные рельсы из доэвтектоидной стали, содержащей 0,72-0,80%С, перестали удовлетворять ужесточенным требованиям эксплуатации из-за выхода по местным контактно-усталостным дефектам и значительного бокового износа. Поэтому повышение их износостойкости и контактно-усталостной прочности является актуальной задачей.

Известно, что увеличение содержания углерода в рельсовой стали приводит к повышению усталостной прочности и износостойкости [1]. Микролегирование рельсовой стали ванадием (0,05-0,11%) и азотом (0,009-0,017%) приводит к увеличению твердости, прочностных, пластических свойств и хладостойкости [2].

С целью создания рельсов повышенной эксплуатационной стойкости ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат» («НКМК») совместно с ВНИИЖТ разработали химический состав заэвтектоидной рельсовой стали Э83Ф, содержащей 0,78-0,88% С; 0,75-1,05% Mn; 0,25-0,45% Si; 0,03-0,15% V; не более 0,015Al% (ТУ 0921-125-2001) и технологию производства подвергаемых закалке в масле рельсов из стали данного состава [3]. При производстве рельсов из заэвтектоидной стали (маркировка Р65К) в некоторые плавки вводили азотированный феррованадий из расчета получения в стали 0,012-0,017% азота.

Сталь выплавляли в 100-т дуговой электропечи с использованием жидкого чугуна. Разливку проводили на четырехручьевых радиальных МНЛЗ с сечением кристаллизаторов 300x330мм. Температурный и температурно-скоростной режимы выплавки и разливки приведены в работе [3].

Нагрев и прокатку непрерывнолитых заготовок на рельсы Р65К и Р65 осуществляли по действующей на комбинате технологии. Рельсы из заэвтектоидной стали подвергали объемной закалке в масле и отпуску.

Отбор проб, испытания и аттестацию рельсов выполняли в соответствии с ГОСТ Р 51685-2000 и ТУ 0921-2001. Вырезку образцов, оценку неметаллических включений, определение механических свойств производили в соответствии с требованиями стандартов как указано в работе. Копровые испытания проводили при минус 60°С и высоте подъема груза 4,2м. Остаточные напряжения определяли на одном рельсе каждой плавки методом разрезки шейки рельсовой пробы (длина паза 420 мм).

Металлографическое исследование микроструктуры объемно-закаленных рельсов проводили на шлифах, вырезанных из головки, шейки и подошвы рельса.

Рельсы из стали Э83Ф удовлетворяли требованиям ГОСТ Р 51685 и ТУ 0921-125-2001 по копровой прочности, остаточным напряжениям, макро- и микроструктуре, неметаллическим включениям и механическим свойствам. Стрела прогиба копровых проб рельсов Р65К составила 8,5-10 мм, в то время как для рельсов Р65-22-24 мм.

Результаты испытаний рельсов Р65К на остаточные напряжения показали, что величина расхождения паза составляет 1,1-1,7 мм. Такая величина остаточных напряжений удовлетворяет требованиям стандарта для рельсов категории «В». Макроструктура рельсов плотная: осевая химическая однородность соответствует баллам 1-2; точечная неоднородность и ликвационные полосы не выявлены. Длина строчечных хрупкоразрушенных неметаллических включений в них не превышает 0,5 мм. В рельсах из стали Э83Ф с повышенным содержанием (0,07-0,08%) ванадия и (0,012-0,017%) азота (таблица 1) аустенитное зерно мельче (№9), чем в рельсах из стали с меньшим содержанием ванадия (0,05-0,06%) и азота (0,009-0,011%). В рельсах Р65 из доэвтектоидной стали Э76Ф аустенитное зерно соответствует №9-8.

Таблица 1 – Химический состав рельсовых сталей

Сталь	Содержание химических элементов, %								
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	V	N
Э76Ф	0,76	0,90	0,33	0,014	0,010	0,086	0,079	0,072	0,011
Э83Ф	0,85	0,85	0,33	0,014	0,008	0,069	0,060	0,053	0,010
Э83Ф*	0,85	0,86	0,35	0,013	0,007	0,074	0,061	0,072	0,014
Требования ТУ 0921-125-2001									
Э83Ф	0,78- 0,88	0,75- 1,05	0,25- 0,45	н.б. 0,020	н.б. 0,015	н.б. 0,15 каждого	0,03- 0,15	-	-

* Сталь с повышенным содержанием V и N

Микроструктура объемнозакаленных рельсов Р65К из стали Э83Ф такая же как и рельсов Р65 из стали Э76Ф и представляет собой сорбит закалки. Однако в рельсах из заэвтектоидной стали она имеет более тонкое строение. Получение более дисперсной структуры связано с тем, что увеличение содержания углерода в стали снижает температуру превращения аустенита при закалке и превращение протекает быстрее. В осевой части шейки рельсов наблюдались выделения цементита как в виде отдельных частиц, так и в виде разорванной сетки, оцениваемой в основном баллом 1. Значения микротвердости головки и осевой части шейки по месту выделения цементитной сетки отличаются незначительно и составляют соответственно 147,8 и 151 кг/мм². Отсутствие сплошной цементитной сетки в микроструктуре шейки рельсов Р65К связано с незначительной ликвацией углерода в осевой части непрерывнолитых заготовок и микролегированием заэвтектоидной стали ванадием, который связывает часть углерода и азо-

та в карбонитриды и снижает их содержание в твердом растворе. В результате уменьшается количество образующегося цементита и возможность его выделения в виде сетки.

Ванадий, сдвигая эвтектоидную точку распада в сторону большего содержания углерода в стали [4], также способствует снижению возможности образования сплошной цементитной сетки. Установлено, что количество, форма и распределение структурно-свободного цементита, выделяющегося при охлаждении рельсов после прокатки на границе аустенитного зерна, могут быть неодинаковыми в рельсах разных плавок. В мелкозернистой стали по месту расположения границ зерен, оцениваемых №9 наблюдаются отдельные точечные частицы цементита, в стали, имеющей зерно большого размера №8 – отдельные выделения цементита в виде разорванной сетки.

Рельсы из стали Э83Ф имели более высокие твердость и прочностные свойства, чем рельсы из доэвтектоидной стали Э76Ф (таблица 2).

Таблица 2 – Механические свойства рельсовых сталей

Сталь	σ_T	σ_B	δ	ψ	Твердость	КСУ, Дж/м ²	
	Н/мм ²		%	%		НВ _{ПКГ}	+20 °С
Э76Ф	930	1290	11,6	37,9	362,9	0,39	0,28
Э83Ф	1020	1405	10,2	36,0	393,5	0,34	0,17
Э83Ф*	998	1384	11,4	40,3	383,4	0,36	0,26
Требования ТУ 0921-125-2001							
Э83Ф	Не менее						
	900	1300	7	28	363	0,20	0,15

* Рельсы с повышенным содержанием V и N

Повышение концентрации углерода в металле с 0,71—0,8 до 0,81-0,88% при содержании в среднем 0,053%V и 0,011%N обеспечило повышение предела текучести и временного сопротивления разрыву рельсов соответственно на 71 и 97 Н/мм² по сравнению с доэвтектоидными рельсами. Твердость поверхности катания и на глубине 10 мм заэвтектоидных рельсов возросла на 32 и 27 НВ. Относительное удлинение, сужение и ударная вязкость при +20°С заэвтектоидных рельсов ниже на 2%, 2,6% и 0,05 МДж/м², чем рельсов из доэвтектоидной стали Э76Ф.

Увеличение содержания ванадия до 0,07-0,08% и азота до 0,012-0,017% в стали Э83Ф обеспечило повышение относительного сужения и удлинения, а также ударной вязкости рельсов. Хладостой-

кость их значительно выше, чем обычных рельсов из стали Э76Ф. Уровень ударной вязкости рельсов Р65К при +20°С практически такой же как и рельсов Р65 из стали Э76Ф, при минус 60°С ударная вязкость значительно выше и составляет 0,23-0,61 МДж/м². Рельсы из заэвтектоидной стали с повышенным содержанием ванадия и азота по механическим свойствам и хладостойкости соответствовали категории «В» по ГОСТ Р 51685-2000. Сравнительно высокий уровень ударной вязкости ($KCU^{-60}=0,23\text{МДж/м}^2$) и пластических свойств ($\delta=11,43\%$; $\Psi=40,3\%$) рельсов из этой стали при высоких значениях прочностных свойств ($\sigma_{0,2}=998\text{Н/мм}^2$, $\sigma_B=1384\text{Н/мм}^2$), можно объяснить тем, что повышение концентрации ванадия и азота приводит к уменьшению доли цементита Fe₃C и росту количества карбонитридов ванадия (C,N). Рельсы Р65К из заэвтектоидной стали Э83Ф отгружены на Восточно-Сибирскую железную дорогу и уложены в пути кривых радиусом 394 и 294 м. По данным замерам бокового износа и пропущенного тоннажа подсчитан удельный износ рельсов в зависимости от их типа. Удельный боковой износ на 1 млн.т км брутто на км рельсов Р65К, составил соответственно 0,078 и 0,074 мм. Для обычных рельсов Р65 он значительно больше и составляет 0,124 мм.

Таким образом, эксплуатационная стойкость рельсов Р65К по сравнению с обычными Р65 по боковому износу (на втором пути 5272 км) выше на 37-44%.

Согласно заключению комиссии Восточно-Сибирской железной дороги для снижения бокового износа головки рекомендовано укладывать рельсы Р65К на горно-перевальных участках железных дорог и в кривых малого радиуса с жесткими условиями эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поляков В.В, Великанов А.В. Основы технологии производства железнодорожных рельсов. М.: Металлургия. 1990. - 416 с.
2. Ворожищев В.И, Павлов В.В, Девяткин Ю.Д и др. Известия вузов. Черная металлургия. 2004. № 2, с. 47-51.
3. Павлов В.В, Козырев Н.А, Дементьев В.П. и др. Сталь. 2004. № 1. С.31-32.
4. Голиков И.Н, Гольдштейн М.И, Мурзин И.И. Ванадий в стали. М.: Металлургия. 1968. -291 с.

УДК 669.15

В.М. Нагибин

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

ВЛИЯНИЕ ВАНАДИЯ НА СОСТАВ ИЗОЛИРОВАННОГО ЦЕМЕНТИТА ЧУГУНА И ЕГО УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ НАГРЕВАНИИ

С помощью термомагнитного анализа изучено влияние ванадия на изменение состава цементита в быстроохлажденных железоуглеродистых сплавах и в изолированном состоянии. Установлено, что после нагрева в аустенитную область ванадий повышает точку Кюри свободного цементита, изменяет его состав и, следовательно, кристаллохимическое строение. Обнаружены области термической неустойчивости изолированного цементита.

Using magnetothermal analysis the influence of vanadium on change of cementite's structure in rapidly cooled iron-carbon alloys and in isolated state has studied. It has determined that after heating in austenitic range vanadium raises the point of Curie of isolated cementite, changes its structure and consequently crystal chemistry composition. Areas of thermic instability of isolated cementite have discovered.

По данным [1] ванадий относится к группе элементов (V, Mo, W), которые образуют собственные стойкие карбиды и в то же время образуют растворы с цементитом.

Ванадий в чугунах является карбидообразующим элементом. Он препятствует графитизации с интенсивностью, возрастающей с ростом концентрации в сплаве. Графит под его влиянием измельчается и завихряется.

Процессы карбидо- и графитообразования чугуна в присутствии ванадия имеют сложный характер, а данные литературных источников по его влиянию на состав цементита противоречивы.

Бобро Ю.Г. [2] допускает замещение железа в цементите ванадием в сотых атомных долях процента.

Богачевым И.Н. [3] показано, что ванадий влияет на положение температуры магнитного превращения цементита (точка A_0), снижая ее в пределах 50-200 °С при содержании ванадия до 0,5 %. Дальней-

шее же увеличение количества ванадия не изменяет температуры магнитного превращения цементита.

Следует признать, что в литературе отсутствуют результаты термомагнитного анализа сплавов системы Fe-C-V и изолированного из них цементита при нагревании в аустенитную область, которые могли бы свидетельствовать как о его составе, устойчивости, так и об изменениях фазового состава.

Известно [4], что намагниченность насыщения и точка Кюри относятся к структурно нечувствительным свойствам, определяются химическим составом ферромагнетика и связаны с наличием или температурным изменением магнитного порядка. Намагниченность насыщения зависит также от расположения атомов по узлам кристаллической решетки. К основным магнитным параметрам ферромагнитных сплавов относятся средний атомный магнитный момент (в магнетонах Бора) и точка Кюри. Средний атомный магнитный момент рассчитывают по удельной намагниченности, экстраполированной к абсолютному нулю. Физическая сущность среднего атомного магнитного момента сводится к тому, что он определяет степень участия d-электронов в химических связях

Влияние ванадия на состав и устойчивость изолированного цементита изучали на образцах железоуглеродистых сплавов с содержанием 3,33%С и 0,91 %V, выплавленных на основе армко-железа и металлического ванадия. Максимальная скорость охлаждения сплавов обеспечивалась засасыванием жидкого металла с помощью груши в кварцевые трубки диаметром 4-5 мм. с последующим охлаждением в холодной воде. Цементит выделяли электрохимическим методом.

Термомагнитные кривые сплавов и порошкообразного цементита записывали на магнитных весах по методу Фарадея в поле напряженностью 760 кА/м. Погрешность измерений не превышала 0,5%. Нагрев и охлаждение образцов проводили со скоростью 30-40°/мин. Точку Кюри цементита определяли по перегибу зависимости намагниченности насыщения от температуры. Градуировку установки производили по намагниченности и точкам Кюри железа Армко и карбонильного железа.

В процессе нагрева на температурной зависимости намагниченности насыщения сплава наблюдается перегиб при температуре около 190 °С, соответствующий точке Кюри цементита (рисунок 1). Выше 250 °С наблюдается рост намагниченности, связанный с превращениями мартенсита и остаточного аустенита. При 760 °С протекает $\alpha \rightarrow \gamma$ переход.

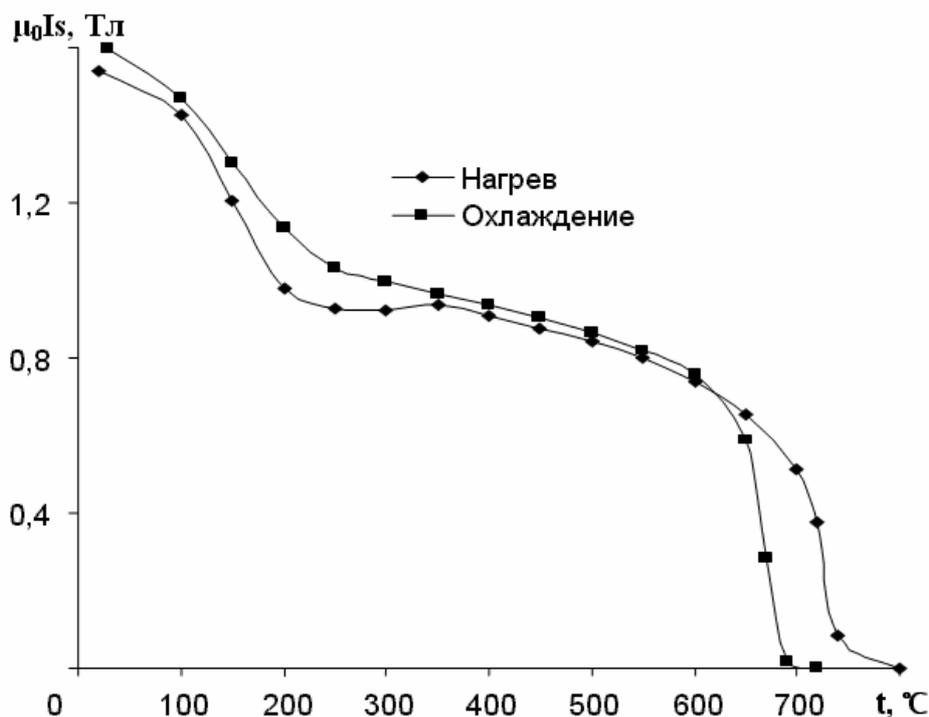


Рисунок 1 – Температурная зависимость намагниченности насыщения сплава с содержанием 3,33 %C и 0,91 %V

При охлаждении на температурной зависимости намагниченности насыщения в области температур 685°C виден переход сплава в ферромагнитное состояние вследствие $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения. Затем на термомагнитной кривой охлаждения фиксируется перегиб около 220°C , соответствующий температуре магнитного превращения цементита.

Повышение точки Кюри цементита в результате нагрева и охлаждения сплава связано, по-видимому, с перераспределением ванадия между твердым раствором и карбидной фазой при превращениях мартенсита и остаточного аустенита.

Температурная зависимость намагниченности насыщения цементита в изолированном состоянии изображена на рисунке 2.

Из этого рисунка видно, что свободный цементит при температуре около 185°C переходит в парамагнитное состояние. Выше 300°C и 600°C наблюдается возрастание намагниченности с максимумами при 400°C и 700°C и последующим $\alpha \rightarrow \gamma$ переходом при 740°C .

На термомагнитной кривой охлаждения наблюдается $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение в области температур около 700°C и последующий переход цементита в ферромагнитное состояние с точкой Кюри, близкой к 220°C .

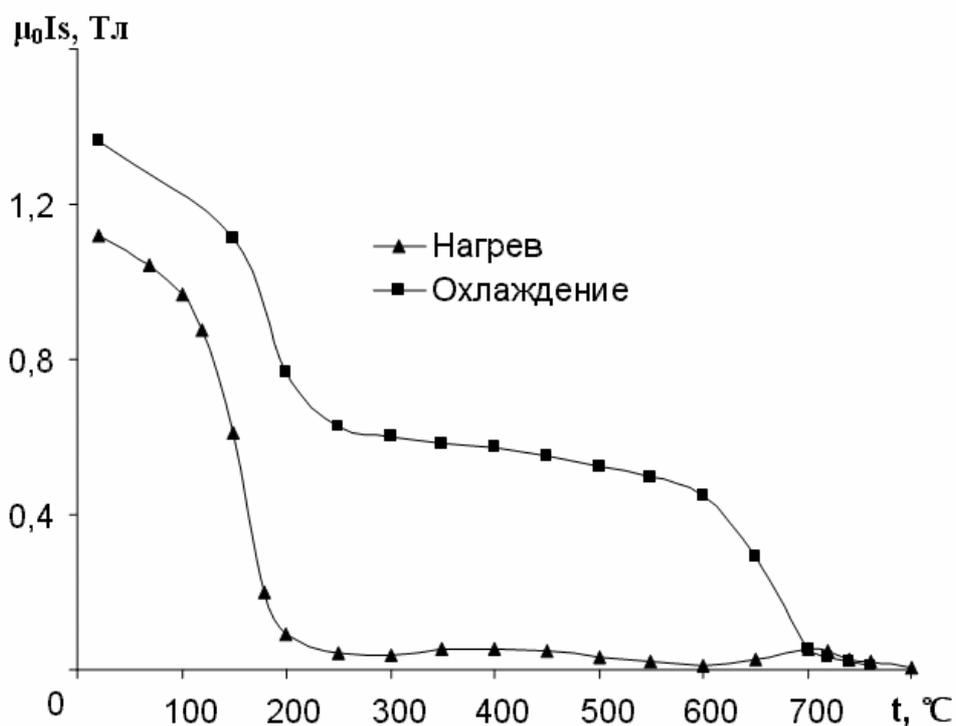


Рисунок 2 – Температурная зависимость намагниченности насыщения цементита, изолированного из сплава с содержанием 3,33 %С и 0,91 %V

Из сравнения термомагнитных кривых железоуглеродистого сплава с ванадием (рисунок 1) и выделенного из него цементита (рисунок 2) можно заключить, что точки Кюри цементита регистрируются при достаточно близких температурах. Достаточно весомый прирост намагниченности с 1,117 Тл. до 1,365 Тл. в результате нагрева свидетельствует о существенном снижении ванадием устойчивости изолированного карбида.

Природа возрастания намагниченности выше 300 °C и 600 °C при нагревании изолированного цементита, содержащего в своем составе ванадий, в настоящее время не изучена. Рост намагниченности в области температур около 400 °C указывает на термическую нестабильность и, возможно, структурные изменения в решетке цементита. В работе [5] показано, что явление перехода свободного цементита двойных железоуглеродистых сплавов из парамагнитного состояния в ферромагнитное при температурах 600-700 °C свойственно эвтектоидному (перлитному) цементиту вследствие его предназначения содействовать $\alpha \rightarrow \gamma$ превращению. При этом величина эффекта прироста намагниченности с ростом содержания углерода в сплавах уменьша-

ется, что объясняется изменением соотношения цементитов различного происхождения (эвтектического, вторичного и эвтектоидного).

Поэтому небольшой рост намагниченности при 700 °С в процессе нагрева указывает на малое количество эвтектоидного цементита, а ход термомагнитной кривой охлаждения на его термическую нестабильность и структурные изменения в нем.

Обращает на себя внимание то, что после нагрева в аустенитную область возрастают точки Кюри цементита как в сплаве, так и в изолированном состоянии. Это, возможно, связано с тем, что в сплавах железа с ванадием также наблюдается возрастание температуры магнитного превращения до 815 °С с ростом его содержания до 5 %V и последующее ее снижение с дальнейшим ростом концентрации ванадия [6]. С другой стороны, можно утверждать, что повышение точки Кюри цементита после нагрева до 800 °С свидетельствует об изменении его химического состава. Возрастание же величины магнитного насыщения и, следовательно, среднего атомного магнитного момента указывает на усиление связи между атомами железа и ванадия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гиршович Н.Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. /Н.Г. Гиршович. - М-Л.: Машиностроение, 1966.- 562 с.
- 2 Бобро Ю.Г. Легированные чугуны. /Ю.Г. Бобро - М.: «Металлургия», 1976.- 288 с.
- 3 Богачев И. Н. Металлография чугуна. /И.Н. Богачев – 2-е изд. доп. и перераб. - Свердловск: Metallurgizdat, 1962.- 392 с.
- 4 Лифшиц Б. Г. Физические свойства металлов и сплавов. / Б.Г. Лифшиц, В.С. Крапошин , Я.Л. Линецкий - М.: «Металлургия», 1980. - 320 с.
- 5 Нагибин В.М. Особенности термомагнитных свойств эвтектоидного и эвтектического цементита // «Известия вузов. Черная металлургия». - 1982.- №6, - С. 92-94.
- 6 Бозорт Р. Ферромагнетизм. / Р. Бозорт - М.: Изд-во иностранной литературы, 1956. - 784 с.

**ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ**

УДК 666.9: 699.86

Н.С.Анашкин*, С.И. Павленко

ООО «Сталь НК»*

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

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ МАРТЕНОВСКИХ ШЛАКОВ (ВЫПУСКАЕМЫХ И ОТВАЛЬНЫХ) В ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ (ПЕНОСИЛИКАТ)

Проведенные ООО «Сталь НК» совместно с СКТБ «Наука» (г.Красноярск) в лабораторных условиях опытные плавки показали реальную возможность переработки мартеновских шлаков с получением пеносиликата.

Предлагаемая технология комплексной переработки мартеновских шлаков основана на глубоком восстановительном плавлении шлаков с разделением расплавов на силикатную и металлургическую части с получением железа, легированного переходными и другими полезными металлами.

Pilot fusion run by the “Steel NC” company in association with the STDO “Science”, Krasnoyarsk, demonstrated the feasibility of processing open-hearth furnace slags with the foam-silicate being produced.

The technology suggested for the complex processing of open-hearth furnace slags is based on the intensive restoration melting of the slags with the division of the melt into silicate and metal parts and with the production of iron alloyed with transient and other useful metals.

Целесообразность организации производства пеносиликата

Целью настоящего раздела научно-исследовательской работы явилось продолжение разработки комплексной технологии переработки и использования выпускаемых и громадных объемов отвальных мартеновских шлаков на ООО «Сталь НК», в частности по получению дешёвых (и дефицитных в стране и Кузбассе) теплоизоляционных материалов с определенными характеристиками.

Дело в том, проведенными предприятием маркетинговыми исследованиями, 80 % переработанного отвального шлака (20 % возвращается на переплавку в мартеновские печи в качестве сырья) не полностью востребовано для дорожного строительства и в качестве

заполнителей для мелкозернистых бетонов. В то же время огромен спрос на теплоизоляционные материалы.

В настоящее время строительная индустрия и энергетика испытывают большой дефицит в негорючих твердых материалах, обеспечивающих звуко- и теплоизоляцию и не теряющих своих свойств со временем. Еще большую остроту данной проблемы вносят изменения к СНиП П-3-79, повышающие требования к теплозащите зданий до мировых стандартов в целях экономии затрат топлива на отопление.

Производство эффективных теплоизоляционных материалов в России в разы меньше, чем в развитых странах Запада. На российском рынке теплоизоляционных материалов представлены различные материалы, в частности, в нашем регионе из недорогих материалов распространены в основном: ячеистый бетон, газобетон, из дорогих – продукция зарубежных фирм (сухие штукатурные смеси, пеностекло и пр.). Недостаток эффективных теплоизоляционных материалов российские строители восполняют традиционными материалами, такими, как керамзит, минеральная вата, пенополистирол и пенополиуретан. Нами предлагается технология производства нового теплоизоляционного материала – пеносиликата, позволяющая улучшить экологическую обстановку региона. Предпосылки к созданию технологии и производства на ее основе заключены в основном в двух проблемах, остро стоящих перед Российской Федерацией в целом и г. Новокузнецком в частности:

- нарушение земель в результате хозяйственной деятельности, их рекультивация;
- производство сравнительно дешевого строительного материала, удовлетворяющего по всем своим характеристикам потребности различных отраслей промышленности, в таблице 1 представлены используемые в настоящее время теплоизоляционные материалы и приведены их основные характеристики.

Из таблицы 1 видно, что даже без учета транспортной составляющей, а это немаловажный фактор для нашего региона, пеносиликат – наиболее перспективный материал для использования в строительной отрасли, тем более, что основные его характеристики переходят и на изделия, изготовленные на его основе. Пеносиликат является исходным сырьем для получения огнеупорных материалов (конструкционной и теплоизоляционной керамики и пенокерамики) с температурой использования 1200–1500 °С.

Все вышеописанное подтверждает актуальность предлагаемого настоящим инвестиционным проектом решения проблемы утилизации промышленных отходов.

Таблица 1 – Основные характеристики теплоизоляционных материалов

Материал	Цена (руб.) без учета транспорт- ных	Горючесть	Теплопроводность вт/м, °К	Плотность кг/м ³	Стойкость (воздействие внешней среды, время)	Экологичность
Вспученный вермикулит	800-1100	–	0,055–0,068	100–500	+	+
Вспученный перлит	800–1100	–	0,043–0,093	75–600	+	+
Пенополиуретан	1200–1800	+	0,02–0,035	35–45	+–	–
Пенополистирол	1200–1800	+	0,037–0,043	20–50	+–	–
Керамзит	900–1500	–	0,09–0,3	250–600	+	+
Мин. Вата	700–1000	–	0,047–0,051	50–150	–	–
Тепло- звукоизолиру- ющая сухая	1800–2100	–	0,068–0,2	300–800	+	+
Алюмосиликат- ное ячеистое стекло (пено- стекло)	18270–19590	–	0,039–0,047	105–165	+	+
Пеностекло (Го- мель)	2550–3360	–	0,085–0,110	<200	+	+
Пеносиликат	900	–	0.035–0.09	40–400	+	+

Для решения этой задачи предлагается организация производства пеносиликата из мартеновского шлака в литейном цехе ООО «Сталь НК». В настоящее время, в связи с ликвидацией производства изложниц и пробок для них, электропечь № 20, ориентированная на это производство, остановлена. Для ее использования в производстве пеносиликата необходимо осуществить ее модернизацию. Проведенные в лабораторных условиях СКТБ «Наука» г. Красноярска опытные плавки показали реальную возможность переработки мартеновских шлаков с получением пеносиликата.

Технология производства пеносиликата

Предлагаемая технология комплексной переработки мартеновских шлаков основана на глубоком восстановительном плавлении шлаков с разделением расплава на силикатную и металлическую части с получением железа, легированного переходными и другими полезными металлами (в зависимости от состава промышленных отходов). Охлаждение силикатной части расплава производится в режиме термоудара [1] с получением высокопористого твердого негорючего материала – пеносиликата. Далее производится классификация пеносиликата и получение теплоизоляционных изделий на его основе. Очистка отходящих газов от мелкодисперсной пыли производится по двухступенчатой системе. Для улавливания аэрозолей пыли предусматривается применение фильтра с эффективностью очистки 96 %. Пыль после циклона возвращается в технологический процесс. Технология производства пеносиликата представлена на рисунке 1.

Перспектива производства основывается на следующем: пеносиликат можно использовать не только в виде утеплительной засыпки, но и в виде заполнителя для форм определенной конфигурации при получении жесткоформованных плит, скорлуп,

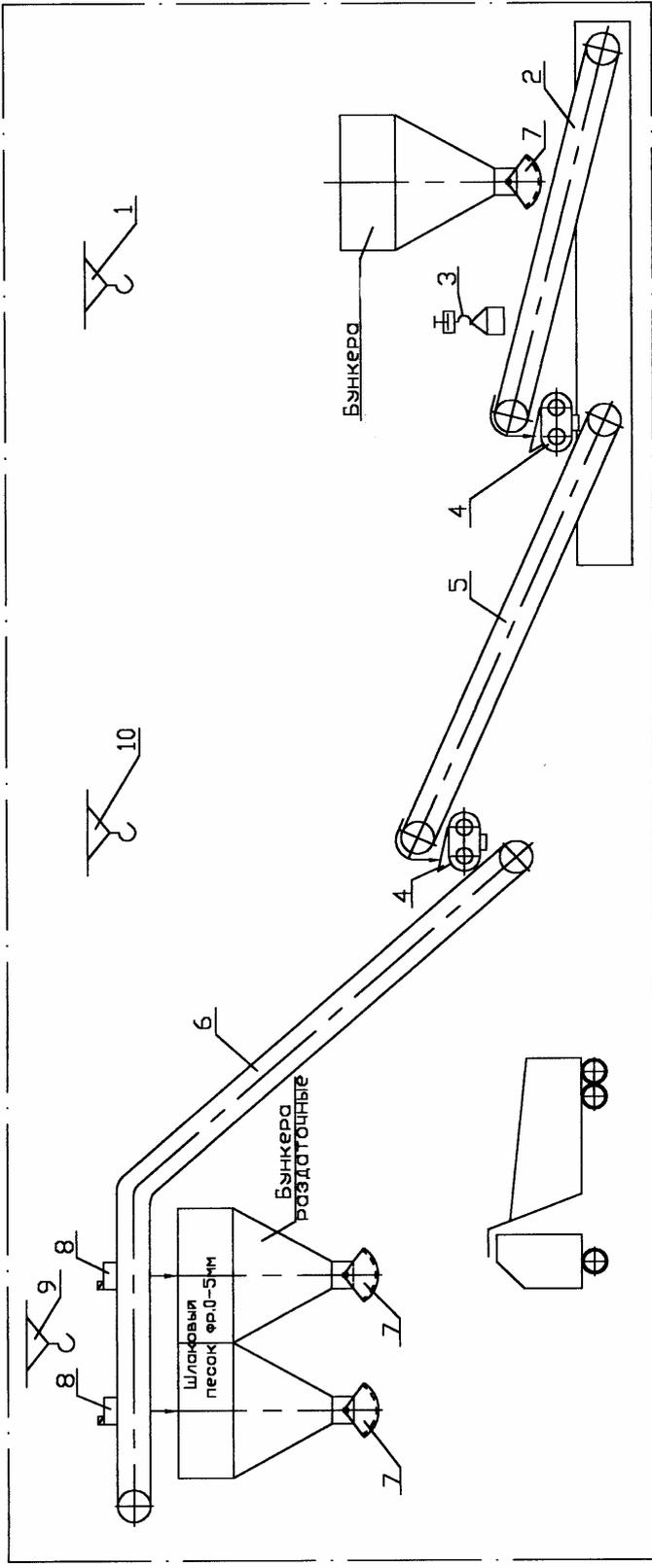
Состав необходимого оборудования:

- электропечь;
- пеногенератор;
- конвейер – 2шт.;
- загрузочный бункер с разгрузочным устройством (технологическим трубопроводом) – 2шт.;
- расходный бункер – 4шт.;
- газоочистное оборудование. Основное оборудование будет изготавливаться на предприятии.

Экономическая эффективность

Эффективность производства рассчитывается на основе продукта конечного использования - пеносиликата как сыпучего утеплителя; остальные продукты, такие, как сухие строительные смеси, теплоизоляционные блоки, для экономических расчетов не используем. В расчетах используем попутный продукт рассматриваемой технологии – сплавы металлов и редкоземельные элементы (в зависимости от состава отходов).

Технологическая схема переработки мартеновских шлаков на ООО 'Сталь НК' в качестве заполнителя для мелкозернистых бетонов.



Экспликация оборудования.		
Поз.	Наименование оборудования.	Кол-во
1	Таль электрическая передвижная г/п 5т.	1
2	Конвейер ленточный N 1 В=500мм.	1
3	Железотделитель П-100м	1
4	Дробилка валковая шлаковая ДВШ.	2
5	Конвейер ленточный N 2 В=500мм.	1
6	Конвейер ленточный N 3 В=500мм.	1

Экспликация оборудования.		
Поз.	Наименование оборудования.	Кол-во
7	Затвор секторный 700x700	3
8	Сбрасыватель двойной с электроприводом двухсторонний В=500	2
9	Таль электрическая передвижная ТЗ 100-53132-01	1
10	Таль электрическая передвижная г/п 3т.	1

Объем производства пеносиликата – 60 тыс. м³ – принят исходя из мощности пилотной установки. Увеличение объемов производства пеносиликата на пилотной установке возможно до 70 тыс. м³ за счет оптимизации технологических процессов и внедрения организационных мероприятий. Затраты на внедрение проекта приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Капитальные вложения, необходимые для реализации проекта

Наименования затрат	Объем капитальных вложений тыс.	Примечание
Стоимость зданий в конструкциях	3000	
Монтажные работы	1800	60% от стоимости конструкций
ИТОГО СМР	4800	
Оборудование	25100	
Монтажные и пусконаладочные работы	4600	
ИТОГО по оборудованию	29700	
Научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы	12000	
ВСЕГО	46500	

Расчет проведен по трем вариантам мощности производства с учетом его развития. Себестоимость пеносиликата рассчитана с учетом реализации попутной продукции (часть постоянных затрат не относится на попутную продукцию). В зависимости от перерабатываемых отходов попутной продукцией являются различные сплавы железа. В предлагаемом производстве попутной продукцией является чугун, получаемый при переработке шлаковых отходов мартеновского производства (100 кг/т). При получении 70 тыс. м³ пеносиликата перерабатывается 9100 тонн отходов, т.е. получаем 1274 т чугуна. На данный момент стоимость сплава равна 200 дол. за тонну, дополнительный доход при выпуске 70 тыс. м³ пеносиликата может быть равным 7389,2 тыс. руб. Цену пеносиликата определяем на уровне 750 (без НДС) руб. за 1м³. Результаты технико-экономических расчетов приведены в таблице 3. Основные ТЭП приведены в таблице 4.

Таблица 3 – Себестоимость продукции

Наименование статей затрат	Ед. изм.	Производственная программа тыс. м ³ в год			Примечание
		60	65	70	
		вариант 1	вариант 2	вариант 3	
1 Материалы, комплектующие, вода, тепло- и электроэнергия	т. руб.	10521,88	11389,71	12257,54	
2 Заработная плата основных производственных рабочих	т. руб.	1632,00	1795,20	1958,40	
3 Отчисления на соц. страх	т. руб.	585,89	644,48	703,07	
4 Расходы, на содержание и эксплуатацию оборудования	т. руб.	4315,43	4480,78	4646,14	
5 Цеховые расходы	т. руб.	2151,07	2152,08	2153,09	
6 Общезаводские расходы	т. руб.	378,00	378,00	378,00	
7 ИТОГО	т. руб.	22374,26	23862,75	25351,24	
8 Прочие неучтенные затраты	т. руб.	223,74	238,63	253,51	1% от п. 7
9 ВСЕГО	т. руб.	19808,00	21078,88	22349,75	
Себестоимость 1 тыс. м ³	т. руб.	330,01	324,29	319,28	
Точка безубыточного производства	тыс. м ³	12	12	12	

ВЫВОДЫ

Организация производства пеносиликата из мартеновских шлаков в литейном цехе ООО «Сталь НК» решает актуальные проблемы промышленных отходов. Немаловажно, что это благоприятно отражается на экологической обстановке региона. Кроме того, решается еще одна задача – формирование опытного производства материалов из пеносиликата для удовлетворения потребности строительных организаций. Срок окупаемости составляет 1,6 года.

Таблица 4 – Основные технико-экономические показатели производства пеносиликата

Наименование статей затрат	Ед. изм.	Производственная программа тыс. м ³ в год			Примечание
		60	65	70	
		вариант 1	вариант 2	вариант 3	
1 Выручка от реализации продукции (пеносиликат)	т. руб.	54000,00	58500,00	63000,00	
2 Выручка от реализации продукции (попутная продукция)	т. руб.	6333,6	6861,4	7389,2	
3 НДС	т. руб.	7471,27	8095,37	8719,48	
4 Доход с оборота	т. руб.	52862,33	57266,03	61669,72	П.1+П.2-п.3
5 Производственные издержки	т. руб.	19808,00	21078,88	22349,75	
6 Налоги и отчисления	т. руб.	1103,79	1145,92	1188,06	
7 Платежи по процентам	т. руб.	0,00	0,00	0,00	
8 Балансовая прибыль	т. руб.	31950,54	35041,23	38131,91	
9 Налог на прибыль	т. руб.	7668,13	8409,90	9151,66	
10 Прибыль к распределению	т. руб.	24282,41	26631,33	28980,25	
11 Рентабельность товарной продукции	%	53	54	54	П.8/П.1
12 Капитальные вложения на проектно-конструкторские работы	т. руб.	12000	12000	12000	
13 Капитальные вложения на строительномонтажные работы	т. руб.	4800	4800	4800	
14 Капитальные вложения на пусконаладочные работы	т. руб.	4600	4600	4600	
15 Капитальные вложения на оборудование	т. руб.	25100	25100	25100	
16 Капитальные вложения ИТОГО	т. руб.	46500,00	46500,00	46500,00	
17 Срок окупаемости	год	1,91	1,75	1,60	

УДК 681.3

Л.Е. Сидорова, Р.Я. Шарафутдинов, С.В. Сидоров
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

WEB-САЙТ КАК СРЕДСТВО СОЗДАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НЕПРЕРЫВНОГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАБОТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕКТА С ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Центральный вопрос современного менеджмента - построение наглядных моделей реального бизнеса, непрерывное совершенствование базовых процессов создания стоимости. В статье описан подход к построению системы управления интеллектуальной собственностью предприятия в процессе инновационного развития. За счёт создания в рамках индустриальной организации виртуальной обучающейся организации решается задача повышения эффективности использования имеющихся нематериальных активов и непрерывного совершенствования интеллектуальной собственности производственного предприятия.

The principal problems of modern management are: visual modeling of real business, permanent up-grading of basic cost formation processes. The article gives an approach to making of an enterprise intellectual property management system under innovative conditions. Due to making of a virtual educational organization on the basis of an industrial enterprise, the efficiency of available intangible assets becomes higher and an enterprise intellectual property gets constant up-grading.

В металлургии многие объекты управления - это сложные социально - технические системы, плохо формализуемые, с постоянно изменяющимися характеристиками, так при покупке технологий ведущих фирм, культуру производства, знания и компетентность персонала купить невозможно, при этом важно сохранить и развить знания и умения собственных специалистов, разбирающихся в специфических особенностях технологии, организации и управления производством в данной предметной области. В области управления металлургическим производством, в период инновационного развития по-прежнему востребованы знания, необходимые для выполнения работы по совершенствованию внутрипроизводственного анализа, планирования и

реализации организационно-экономических резервов, организации производства и управления технологическими процессами. Предприятию нужны специалисты с обширными знаниями, способные быстро углубиться в проблему. Для облегчения работы им нужна инструментальная система поддержки.

В процессе решения практических инновационных задач создаётся множество промежуточных результатов инновационной деятельности, создаётся множество потенциально полезных информационных ресурсов. Желательно их сохранять и накапливать в базе знаний, сделать доступными для повторного использования и совершенствования. При повторном решении похожих задач, опора на знания позволяет повысить качество выполняемой работы, экономить время и другие ресурсы. Важно иметь возможность оперативно использовать в своей деятельности все существующие знания, применять в работе лучшие практики. В сложных ситуациях люди обращаются друг к другу за помощью; сотрудничают; обмениваются мнениями, информацией познавательного и аффективно-оценочного характера; идеями; отношением к проблеме; точками зрения. Для свободного обмена знаниями им необходима среда, облегчающая общение, стирающая временные, пространственные и организационные барьеры. Для сохранения и развития актуальных знаний, своевременного получения необходимой для принятия полезных решений информации у тех, кто действительно ею обладает, или там, где она действительно имеется, создаётся система управления знаниями. Управление знаниями - это непрерывный процесс создания, развития, структурирования, уточнения и использования для решения практических задач базы знаний предметной области. Управление знаниями сводится к сбору, формализации, накоплению, хранению, уточнению, адресной передаче и целевому использованию актуальных знаний. База знаний выполняет множество функций, решает множество задач. Это среда, облегчающая извлечение, обобщение и формализацию знаний; создание единого для предметной области информационного пространства; облегчающая общение, координацию работ; стирающая временные, пространственные, организационные барьеры. Создание эффективной базы знаний - это сложная плохо формализованная задача.

Информационные технологии изменяют способ осуществления многих видов деятельности, порождают новые возможности для удержания, концентрации знаний и управления знаниями. В киберпространстве формируется индустрия поиска компромиссных решений плохо формализованных задач с помощью формализованных

знаний. Для работы с интуитивно-практическими знаниями предметной области в виртуальном пространстве нужны инструменты поддержки процесса извлечения, формализации, накопления знаний в ней. Актуальна задача создания инструментария поддержки процесса создания нечёткой (гибкой) модели предметной области и оптимизации работы со знаниями в виртуальном пространстве, оптимизации работы лица принимающего решения (ЛПР) при решении сложной задачи управления производственным объектом с изменяющимися характеристиками. В условиях инновационного развития, для поддержки процессов решения множества плохо формализованных задач связанных с вводом в работу и освоением нового технологического оборудования, актуально создание систем управления с базой знаний. Объектом управления являются качество работы, например, машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), качество ресурсов базы знаний и компетентность персонала.

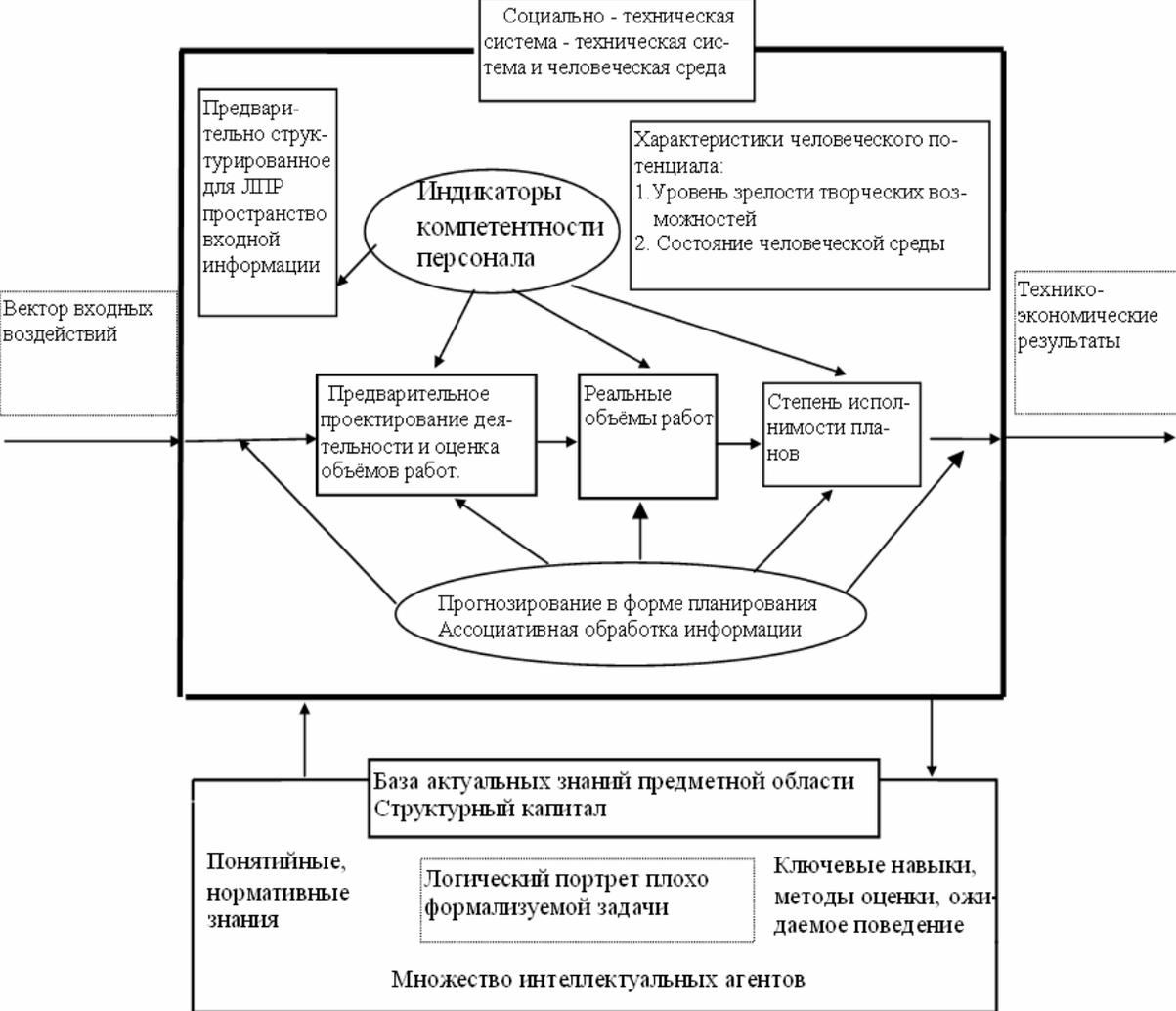


Рисунок 1 – Схема решения плохо формализуемой задачи с помощью знаний

Базу знаний и систему управления знаниями можно построить на основе средств веб-сайта. Создание веб-сайта следует рассматривать как современный подход к организации многоуровневых процессов одновременного анализа и решения сложных проблем. В настоящее время подход применяется в разных предметных областях, когда имеют дело с решением множества плохо формализованных и плохо определённых задач рационализации деятельности человека. На основе веб-сайта можно сформировать адекватный проблеме организационный и информационный ресурс. Сайт выполняет функции хранилища знаний предметной области и деловой информации; ориентирован на обработку больших объёмов текущей информации; ориентирован на оперативный анализ, обобщение релевантной информации; выполняет функции, связанные с хронометрическим анализом событий предметной области; идентификацию темпоральных взаимосвязей между переменными; установление причинно-следственных отношений; ориентирован на непрерывное построение и уточнение гибкой модели предметной области.

Построение гибкой модели объекта управления сводится к накоплению и обобщению знаний; выявлению и описанию множества возможных альтернативных управленческих ситуаций; разделение альтернатив на желательные, допустимые, нежелательные и недопустимые; составление информационного портрета каждой альтернативы; описание значимых признаков, достаточных для идентификации альтернативы; описание оптимальных действий в каждой управленческой ситуации. Организация рассматривается как нечёткое множество процессов: бизнес процессов, технологических процессов, процессов управления, проектирования, обучения, научных исследований и др. Организация стоящая на инновационном пути непрерывного совершенствования базовых процессов создания стоимости должна уметь наглядно описывать свои процессы. На основе гибкой модели для целей управления и непрерывного совершенствования производства создаётся наглядное операционное описание множества основных процессов выполнения работы. Веб-сайт предлагает гибкие формы выполнения сложной работы для множества заинтересованных людей, помогает сформировать необходимые для совершенствования базовых процессов творческие возможности, знания и навыки. На базе веб-сайта создаётся система добычи достоверных данных, необходимой информации, знаний непосредственно из технологического процесса. Там где множество решаемых задач непостоянно, всё время меняется, до конца не известно, для корректного описания множества

проблем и задач целесообразно создание и поддержка на базе веб - сайта виртуального совета по проблеме. Проблемный сайт позволяет решать одновременно множество нетривиальных задач в широком диапазоне предметных областей. Перечислим задачи, решаемые на основе проблемного сайта: детальное изучение принципов работы нового технологического агрегата; выявление и анализ дефектов технологического процесса; выявление причин и устранение недостатков; управление качеством работы оборудования МНЛЗ; управление качеством ремонтов; вопросы безопасности и экологии; совершенствование методик обучения персонала; совершенствование средств извлечения и формализации интуитивно - практических знаний предметной области; совершенствование средств и инструментов гибкого моделирования и др. Анализ работы сайта позволяет уточнить, скорректировать его цели, задачи, ресурсы и функции. Со временем всё это меняется. Необходимо оперативно управлять ресурсами сайта, базы знаний.

В условиях инновационного развития, у специалистов есть потребность в знаниях, обучении, развитии. В рамках отдельной организации, стоящей на пути инновационного развития, потребности в информации, знаниях, обучении и развитии существенно превышают предложение. Более эффективное использование собственных информационных ресурсов организации для развития персонала, возможно путём создания внутреннего рынка знаний и интеллектуальных услуг за счёт развития в рамках индустриальной организации внутреннего интеллектуального предпринимательства в форме виртуальной обучающейся организации, специализирующейся на извлечении, формализации и продвижении на внутренний рынок интуитивно-практических знаний предметной области. Один из важнейших принципов современного менеджмента и его главная функция - создание ценностей. Интуитивно-практические знания и опыт специалистов имеют большую ценность. Непрерывно создающиеся в процессе повседневной работы ценности выявляются виртуальной обучающейся организацией и направляются на внутренний рынок, для оказания услуг обучения и развития заинтересованным лицам. Благодаря рыночному механизму, происходит смещение акцентов в управлении: от эффективного управления ресурсами (входами), переходят к эффективному управлению промежуточными результатами инновационной деятельности - знаниями (выходами). За счёт создания виртуальной обучающейся организации, в рамках индустриальной организации, за счёт включения промежуточных результатов незавершённых иссле-

дований, промежуточных результатов инновационной деятельности в процесс развития персонала, можно превратить узкоспециализированную научную работу в продуктивную экономическую деятельность. Создание, накопление и повторное использование информационных ресурсов уменьшает стоимость единицы информационного продукта. Работы по совершенствованию процесса поиска приемлемого решения плохо формализованной задачи с помощью формализованных знаний сводятся к созданию гибких моделей, шаблонов и интеллектуальных карт процессов, облегчающих работу ЛПР. Сайт облегчает их создание. Шаблон - это полезный информационный продукт, имеющий потенциальную ценность, формализованный фрагмент работы, формализованный опыт, промежуточный результат обработки, обобщения данных о выполняемой работе, инструмент наглядного описания деятельности и визуализации опыта. Шаблоны возникают из успешных прецедентов деятельности, типовых фрагментов деятельности, доказавших свою эффективность на практике. Ценность шаблона в улучшении качества последующей работы, экономии времени и ресурсов. Шаблоны - инструменты формализации интуитивно - практических знаний предметной области, инструменты фиксации и повторного использования успешных фрагментов деятельности, инструменты стандартизации эффективных форм деятельности. Полезные для ЛПР шаблоны накапливаются в базе знаний. Интеллектуальная карта процесса - это инструмент формализации умений, опыта, инструмент тиражирования знаний, интеллектуальной составляющей инновационной деятельности. Инструмент создания целостной функциональной системы поиска компромиссных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелехин В.Ф., Сидоров С.В. Задача функционально-структурной организации распределенных систем управления. / В.Ф. Мелехин, С.В. Сидоров // Вычислительные, измерительные и управляющие системы: Сборник научных трудов. Труды СПбГТУ №449.- СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1994. с. 3-15.

2. Сидоров С.В. О пользе виртуального проектирования прикладных нечетких систем управления. // Материалы Всероссийской научно-практической конференции Под общей редакцией С.М. Кулакова. - Новокузнецк: Издательство СибГИУ, 1998. - с. 153.

3. Кулаков С.М. О способе формализации персональной нечеткой информационной системы оператора МНЛЗ., / С.М. Кулаков С.В. Сидоров //Известия вузов. Черная металлургия. - 2001. - №10.

4. Ефимов Н. А. Позитивное в негативных последствиях интеграционных процессов. // Материалы II международной научно-практической конференции. - Новокузнецк: Издательство СибГИУ, 2005. - с. 38.

5. Мусатов Ю.Н. Инструменты системного проектирования нечеткого регулятора / Ю.Н. Мусатов, С.В. Сидоров, Л.Е. Сидорова // Системный анализ в проектировании и управлении: Труды IX Международной научно-практической конференции.- СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2005. - с. 437-441.

УДК 546.3:[658.567.1:622.33]

О.В. Иваныкина, Н.В. Журавлева, А.Ю. Старыгина
ОАО «Западно-Сибирский Испытательный Центр»,
г. Новокузнецк

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОТХОДАХ ГОРНО-ДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Представлены обобщенные результаты исследований по определению тяжелых металлов в отходах горно-добывающей промышленности Кемеровской области. Обсуждается возможность миграции ряда элементов в окружающую среду из вскрышных и вмещающих пород.

Generalized results of the investigations on heavy metals determination in waste products of mining industry are presented. Migration of some elements to environment from broken rocks is discussed.

Отходы горнодобывающей промышленности создают серьезные геоэкологические проблемы на территории Кемеровской области. Добыча 1000 т угля сопровождается выдачей на поверхность 120–395 т породы. В настоящее время в отвалах горно-добывающей промышленности накопилось более 50 млрд. т вскрышных и вмещающих пород [1]. Однако, современные технологии позволяют использовать лишь небольшую часть извлекаемой массы, а все остальное накапливается в виде отходов. Поэтому одной из главных является задача химического анализа состава отходов для оценки их токсичности и определения перечня соединений, подлежащих экологическому мониторингу на территориях складирования.

Цель работы состояла в изучении химического состава отходов шахт и разрезов Кемеровской области и оценка степени их воздействия на окружающую среду. В основу положены результаты исследований, проводимых в Западно-Сибирском Испытательном Центре с 1998 по 2005 гг. Систематизация данных проведена по 112 пробам промышленных отходов вскрышных и вмещающих пород. В качестве исследуемого параметра было выбрано содержание тяжелых металлов, которые являются одними из наиболее опасных экотоксикантов.

Актуальность проблемы

Тяжелые металлы являются приоритетными загрязнителями, наблюдение за которыми обязательно во всех средах. К ним относят более 40 элементов периодической системы Д.И. Менделеева с атомной массой свыше 50 атомных единиц: V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi и др. По классификации Н. Реймерса, тяжелыми следует считать металлы с плотностью более 8 г/см³: Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg. В прикладных работах к их числу чаще всего добавляют Pt, Ag, W, Fe, Au, Mn. В России в настоящее время принята следующая классификация элементов по степени токсичности для почв: 1 класс – вещества высоко опасные (Hg, As, Se, Cd, Pb, Zn); 2 класс – вещества умеренно опасные (Cr, Co, Mo, Ni, Cu, Sb); 3 класс – вещества мало опасные (Ba, V, W, Mn, Sr).

Результаты исследований

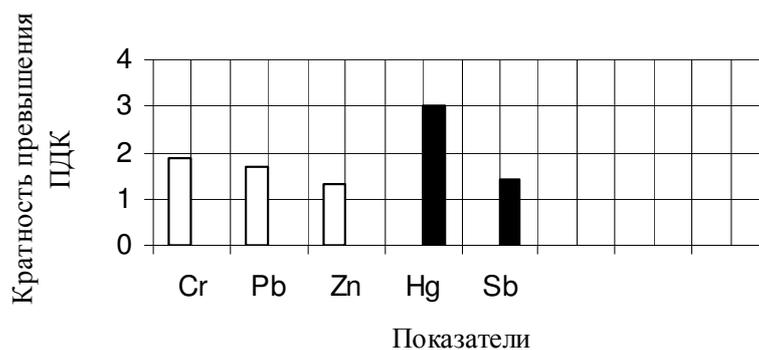
При исследовании геоэкологических объектов определялись концентрации валовых, подвижных и водорастворимых форм элементов. Содержание тяжелых металлов в валовых и подвижных формах проводили методами атомной абсорбции [2]. Подвижные формы тяжелых металлов выделяли с помощью ацетатно-аммонийного буферного раствора с рН 4,8. Концентрации водорастворимых форм элементов определяли методами атомной абсорбции с электротермической атомизацией [3], атомной эмиссии с индуктивно-связанной плазмой [4] и полярографически [5]. Содержание ртути измеряли беспламенным атомно-абсорбционным методом [6].

Диапазоны содержания элементов во вскрышных и вмещающих породах приведены в таблице 1. Из результатов исследований следует, что часть вскрышных пород отличается повышенным содержанием валовых форм Cr (1,9 ПДК), Pb (1,7 ПДК) и Zn (1,3 ПДК) (рисунок 1). Максимальное превышение ПДК_п [7] подвижных форм наблюдается по Cu (5,7 ПДК), Ni (3,4 ПДК), Zn (3,6 ПДК) и Pb (8,5 ПДК) (рисунок 2). Часть вмещающих пород содержит большое количество валовых форм Hg (превышение ПДК в 3 раза) и Sb (1,4 ПДК). Максимальные концентрации подвижных форм тяжелых металлов в данных отходах превышают ПДК по Cu (7,9 ПДК), Ni (5,3 ПДК), Zn (2 ПДК) и Pb (3,8 ПДК). Токсичность отходов оценивается не только по величине ПДК_п, но и по растворимости тяжелых металлов в воде.

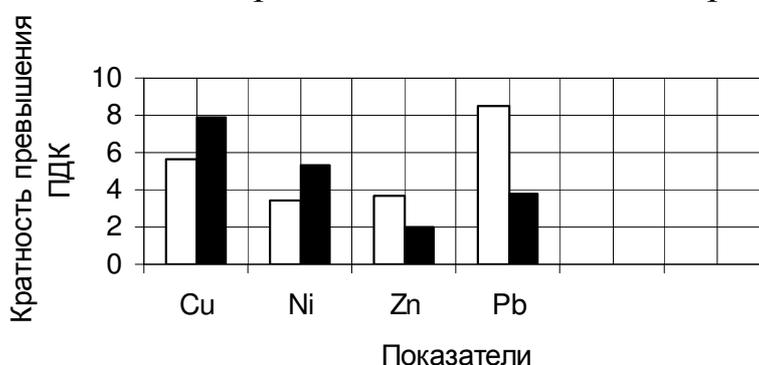
Таблица 1 - Содержание тяжелых металлов во вскрышных и вмещающих породах угольных предприятий Кузбасса

Наименование показателя	Виды отходов		ПДК _п для почвы с учетом фона, мг/кг
	Вскрышные породы (n=60)	Вмещающие породы (n=52)	
Валовые содержания, мг/кг			
Ванадий	33,6-145,6	30,0-145,6	150,0
Медь	14,2-52,0	9,8-38,4	55,0*
Хром	21,6-171,2	20,0-123,3	90,0
Свинец	10,0-51,7	2,0-22,6	32,0
Никель	16,0-56,4	19,4-56,0	85,0
Кадмий	0,4-0,8	0,4-2,0	-
Цинк	46,0-137,6	8,4-68,2	100,0*
Ртуть	<0,01-1,5	<0,01-7,1	2,1
Олово	<1,0-4,1	<1,0-4,7	4,5
Сурьма	<1,0-5,0	<1,0-6,5	4,5
Кобальт	7,9-15,2	5,2-7,2	-
Марганец	304,0-1334,0	78,6-994,4	1500,0
Молибден	4,0-6,0	4,0-10,0	-
Подвижные формы, мг/кг			
Медь	3,0-17,2	3,0-23,8	3,0
Никель	5,0-13,6	7,3-21,0	4,0
Цинк	19,0-82,4	6,1-49,9	23,0
Свинец	10,0-51,7	2,0-22,6	6,0
Марганец	31,0-539,0	26,0-510,8	-
Хром	<2,0-4,5	<2,0-5,4	6,0
Молибден	0,2-1,2	<0,05-1,8	-
Кобальт	0,08-0,1	0,08-0,12	5,0
Водорастворимые формы, мг/кг**			ПДК, мг/дм ³
Ванадий	<0,0005-0,085	<0,0005-0,02	0,001
Кадмий	<0,0005-0,0026	<0,0005	0,01
Кобальт	<0,0002-0,0015	<0,0002-0,019	0,01
Сурьма	<0,0005-0,015	<0,0005-0,015	0,05
Медь	<0,001-0,08	<0,001-0,20	0,001
Молибден	<0,001-0,15	<0,001-0,39	0,0012
Никель	<0,0002-0,028	<0,0002-0,03	0,01
Мышьяк	<0,005-0,13	<0,005-0,01	0,05
Свинец	<0,0002-0,02	<0,0002-0,0009	0,1
Ртуть	<0,0001	<0,0001-0,0002	0,00001
Марганец	<0,005-0,20	<0,005-0,23	0,01
Хром	<0,005-0,10	<0,005-0,055	0,001
Цинк	<0,005-0,51	<0,005-0,23	0,01

Примечание: * Валовое содержание – ориентировочное; ** Так как водная вытяжка выполнена из соотношения твердое вещество:жидкость (1:1), численно содержание водорастворимых форм элементов в мг/кг равно величине в мг/дм³.

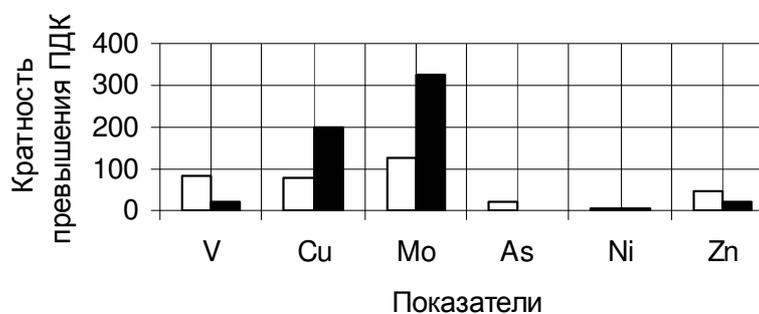


□ Вскрышные породы ■ Вмещающие породы
 Рисунок 1 – Максимальное превышение ПДК валовых форм элементов во вскрышных и вмещающих породах



□ Вскрышные породы ■ Вмещающие породы
 Рисунок 2 – Максимальное превышение ПДК подвижных форм элементов во вскрышных и вмещающих породах

По сравнению с ПДК для воды рыбохозяйственных водоемов [8] часть вскрышных пород содержит V - 85 ПДК, Cu - 80 ПДК, Mo - 125 ПДК, As - 21 ПДК, Ni - 3 ПДК и Zn - 50 ПДК. Аналогичная ситуация наблюдается по этим же элементам и для вмещающих пород: по V (20 ПДК), Cu (200 ПДК), Mo (325 ПДК), Ni (3 ПДК) и Zn (20 ПДК) (рисунок 3).



□ Вскрышные породы ■ Вмещающие породы
 Рисунок 3 – Максимальное превышение ПДК водорастворимых форм элементов во вскрышных и вмещающих породах

ВЫВОДЫ

В подвижных формах и водных вытяжках вскрышных и вмещающих пород присутствуют элементы, содержание которых не нормировано (V, Mn, Mo, Cd, Sb, Hg) или превышает ПДК (Cu, Ni, Zn, Pb, Mo, V, As, Mn, Cr), тогда как нормативная база рассчитана, в основном, для валовых форм тяжелых металлов. Валовое содержание является фактором емкости, отражающим в первую очередь потенциальную опасность загрязнения, но не отражает степени доступности тяжелых металлов для растений и степени миграции их в водную среду.

Опираясь на материалы исследований можно сделать вывод о миграции элементов. Высокое содержание Zn, V, Ni, Cu, Mn было обнаружено во всех формах вскрышных и вмещающих пород. Содержание Pb велико в подвижной форме, но в воде он малорастворим. Вскрышные и вмещающие породы в большом количестве содержат Cr в валовой форме, в подвижную форму его переходит мало, а в водной вытяжке содержание Cr превышает ПДК в 10-100 раз. Sb, Co и Hg в воде малорастворимы.

Материалы исследований позволяют сделать вывод, что загрязнение водных объектов такими тяжелыми металлами, как V, Cu, Mo, Ni, As, Mn, Cr, Zn может происходить за счет вымывания при фильтрации природных водных потоков через массы вскрышных и вмещающих пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сенкус В.В., Шрепп Б.В., Казаков С.П. Экология горных предприятий: Учебное пособие для студентов специальности «Геоэкология»/ НФИ КемГУ. – Новокузнецк, 2003.-80 с.

2. ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.36-02 Методика выполнения измерений валового содержания меди, кадмия, цинка, свинца, никеля и марганца в почвах, донных отложениях и осадках сточных водах методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии. – М: Министерство природных ресурсов РФ, 2002. – 20 с.

3. ПНД Ф 14.1:2.:4.140-98 Методика выполнения измерения массовых концентраций металлов в питьевых, природных и сточных водах методом атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС). – М: Государственный Комитет РФ по охране окружающей среды, 1998 – 20 с.

4. ПНД Ф 14.1:2.:4.135-98 Методика выполнения измерения массовых концентраций металлов методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно – связанной плазмой в питьевой, природной, сточной водах и атмосферных осадках. – М: Государственный Комитет РФ по охране окружающей среды, 1998 – 20 с.

5. ПНД Ф 14.1:2:4.63-96 Методика выполнения измерения массовой концентрации ионов меди, свинца, кадмия в пробах питьевых, природных и сточных вод методом инверсионной вольтамперометрии. – М: Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ, 1996 – 19 с.

6. ПНД Ф 14.1:2:4.136-98 Методика выполнения измерения массовой концентрации ртути методом беспламенной абсорбционной спектроскопии (метод «холодного пара») в питьевой, природной, сточной водах и атмосферных осадках. – М: Государственный Комитет РФ по охране окружающей среды, 1998 – 20 с.

7. Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве САН П и Н 42-128-4433-87. – М: Министерство здравоохранения СССР, 1998 – 19 с.

8. Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. – М: министерство рыбного хозяйства СССР, 1990 – 44 с.

ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 378.1:658.62

Н.М. Кулагин, Г.В. Галевский, А.В. Феокистов
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

ОПЫТ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В СИБИРСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ИНДУСТРИАЛЬНОМУНИВЕРСИТЕТЕ

В статье приведен опыт Сибирского государственного индустриального университета по формированию системы менеджмента качества образовательной деятельности.

In the article the experience of the Siberian state industrial university on shaping a system of management of quality of educational activity is indicated.

История становления нашего университета в области качества в соответствии с его общепринятыми, то есть международными категориями, насчитывает 10 лет. В середине 90-х годов ушедшего столетия город Новокузнецк и прилегающие к нему районы оказались буквально охвачены «качественной» лихорадкой. Тон задавали 7 металлургических предприятий управляющих компаний «Базовый элемент», «Евразхолдинг», Уральской горно-металлургической, для которых в это время обозначились реальные перспективы успешной работы на мировом рынке металлопродукции, но при наличии сертифицированных солидными зарубежными Органами по сертификации систем менеджмента качества. Эта задача металлургическим комплексом Кемеровской области была решена успешно, а идеология качества и мода на него оказались поразительно живучими, заразительными и, как показала дальнейшая жизнь, объективно необходимыми в условиях развивающейся рыночной экономики. Сегодня металлургические предприятия создают и реализуют системы менеджмента качества нового уровня, интегрирующие производственный и экологический менеджмент, а Запсибметкомбинат дважды стал Лауреатом Премии Правительства Российской Федерации в области качества. Таким образом, металлургический комплекс вошел в группу предприятий, имеющих сертифицированные системы менеджмента качества, число которых во всем мире в настоящее время превысило 600 тысяч.

Естественно, что это относительно новое направление работы не могло не поставить и новых профессионально-образовательных и

кадровых задач. Наш университет почувствовал это достаточно быстро, анализируя отзывы работодателей, отчеты председателей ГАК и осуществляя постоянные производственно-образовательные и научные контакты.

Обращение к богатому мировому и достаточно скромному в то время российскому опыту, позволило преодолеть многие сомнения, с 1998 года по 2005 год количество учебных заведений высшего профессионального образования, имеющих сертифицированные системы менеджмента качества, возросло с 2000 до 5000, то есть в 2,5 раза.

Но главную помощь и содействие оказали выпускники университета прошлых лет, в силу разных обстоятельств переквалифицировавшиеся в менеджеров по управлению качеством и достигшие достаточно высокого уровня – от начальников профильных отделов до директоров по качеству и экспертов Европейских Органов сертификации. Методологическая универсальность международных стандартов в области качества определила те стартовые и граничные условия, которые университет должен был соблюсти на пути движения к системе менеджмента качества. Этапы развития СибГИУ в области качества приведены на рисунке 1, а условия тезисно могут быть сформулированы следующим образом:

- разработка, принятие, а главное реализация концепции формирования общей культуры качества университета;
- выбор уровня формируемой системы менеджмента качества: для отдельной профессиональной образовательной программы, кафедры, факультета или университета в целом с охватом всех направлений его работы;
- безусловное лидерство и ответственность руководства в первых двух вопросах, овладение им технологии убеждения мудрого, но, как правило, консервативного Ученого совета.

Программа формирования общей культуры качества в университете представлена на рисунках 2, 3. Было определено 13 составляющих общей культуры качества.

Сама система менеджмента качества образовательной деятельности оказалась только одной, хотя и важнейшей из составляющих.

Поддерживая важность всех составляющих общей культуры качества, необходимо выделить следующие:

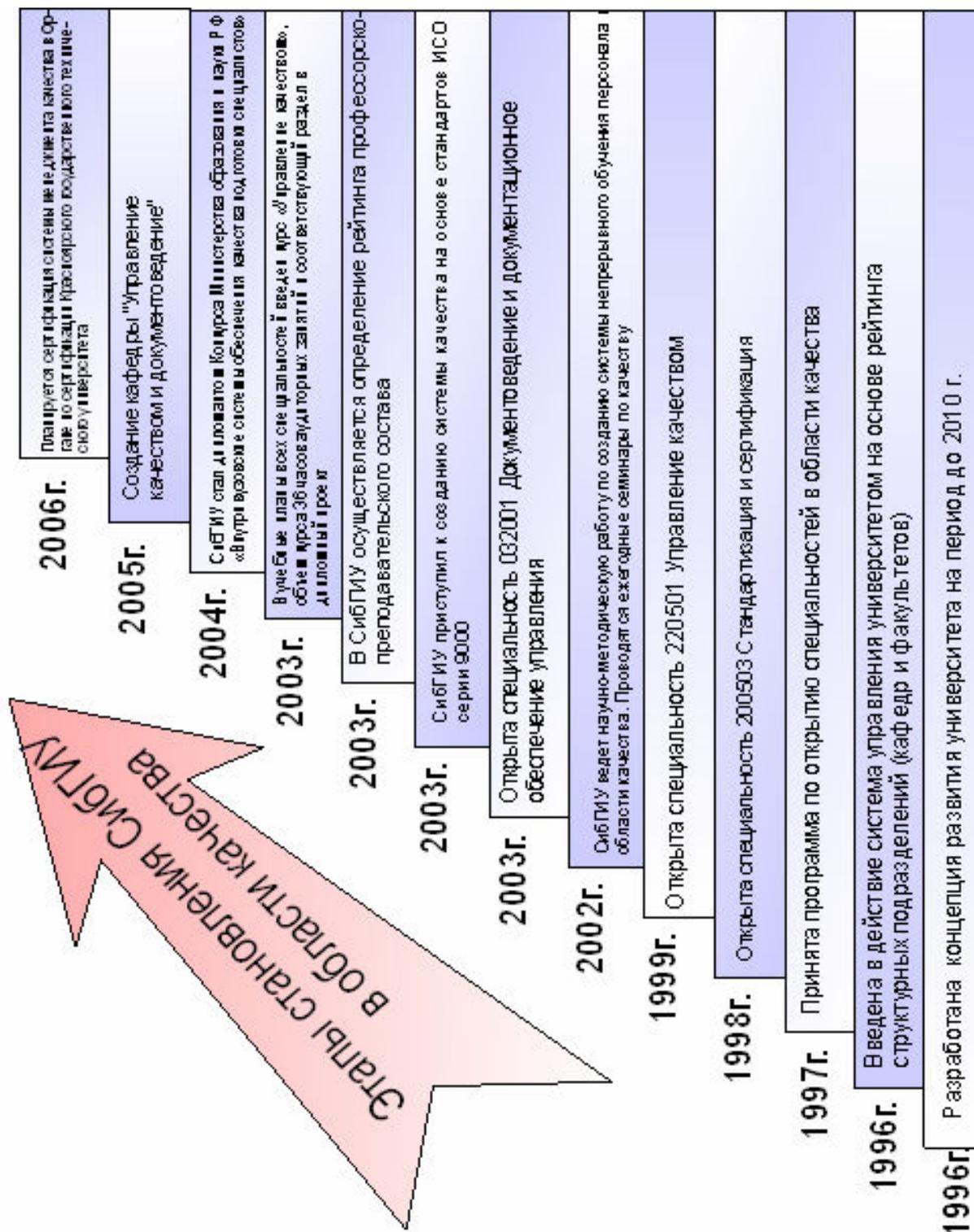


Рисунок 1 – Этапы становления SibGIU в области качества

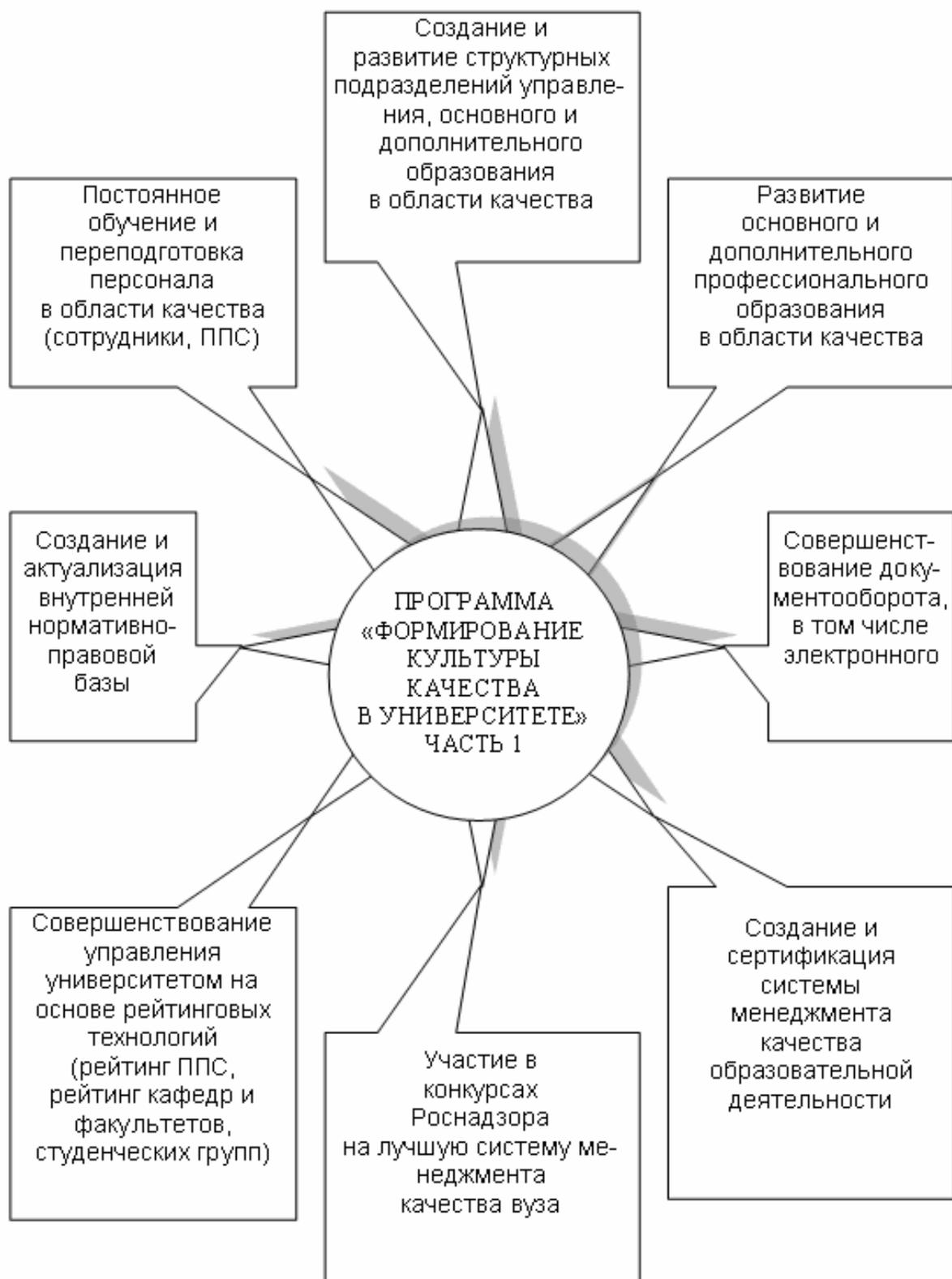


Рисунок 2 – Формирование культуры качества в университете. Часть 1

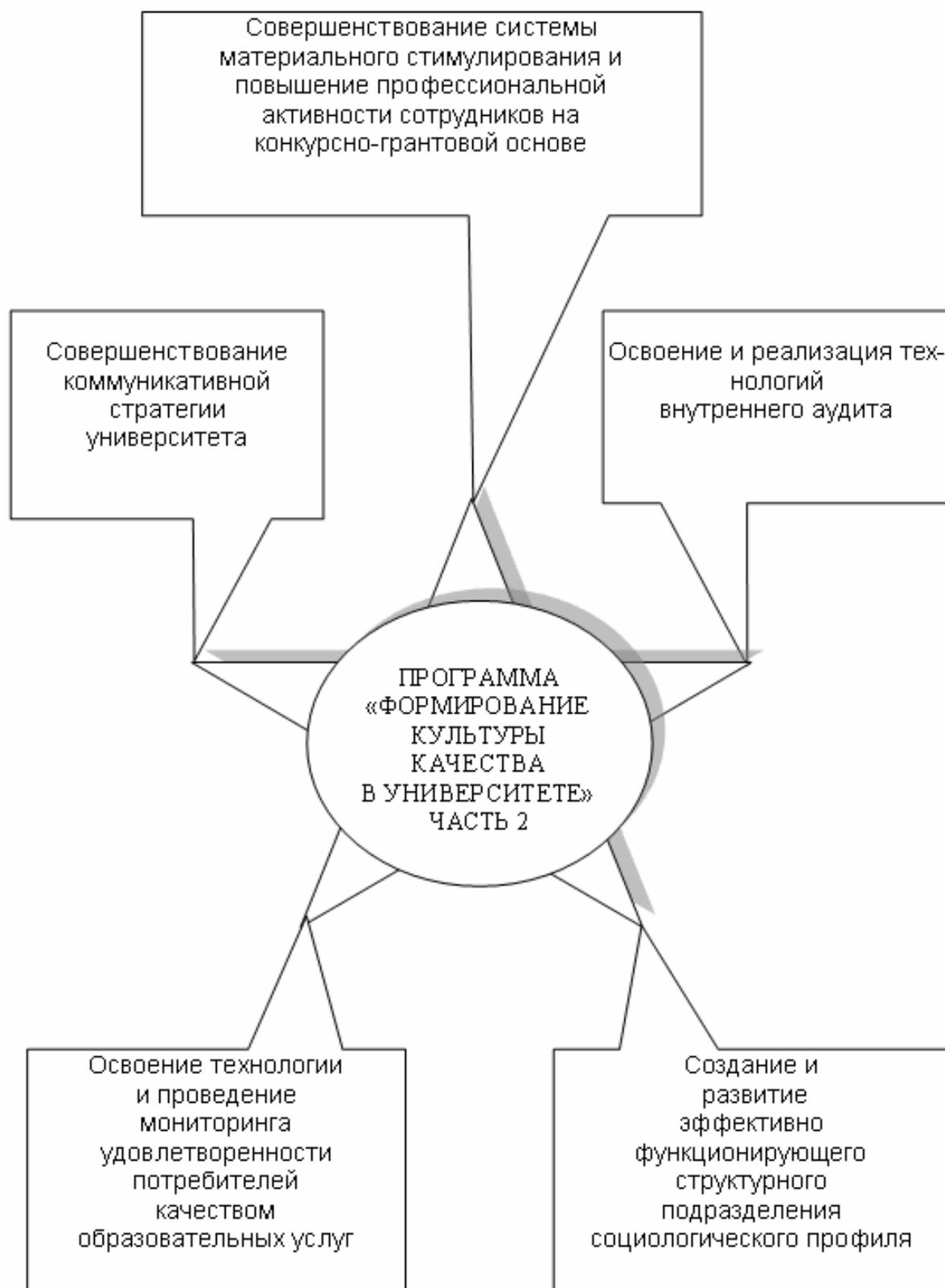


Рисунок 3 – Формирование культуры качества в университете. Часть 2

Третье. Подготовка специалистов-профессионалов в области управления качеством. Идя на встречу своим потребителям, в университете организована подготовка инженеров-менеджеров по специальности «Управление качеством», а также инженеров и документоведов по родственным специальностям «Стандартизация и сертификация» и «Документоведение и документационное обеспечение управления». Первые специалисты в области управления качеством выпущены университетом в 2004 году.

Четвертое. Подготовка студентов основных специальностей университета в области менеджмента качества. Выпускники университета должны прийти на производство подготовленными для работы в этом направлении. Как отмечалось выше, на всех основных градообразующих предприятиях Кемеровской области действуют сертифицированные по международным стандартам системы менеджмента качества, предполагающие соучастие всего персонала в этой работе. Поэтому персонал этих предприятий прошел многоступенчатую подготовку. В связи с этим и молодые специалисты, выпускники университета, должны иметь в этой области соответствующую подготовку. В развитие этого направления университет ввел в учебные планы всех основных специальностей дисциплину «Управление качеством» и соответствующий раздел в дипломный проект.

Вступив на более высокую ступень в понимании вопросов, связанных с подготовкой специалистов по качеству, университет в 2005 году открыл кафедру управления качеством и документоведения.

Пятое. Участие в конкурсе Министерства образования и науки Российской Федерации «Внутривузовские системы обеспечения качества подготовки специалистов», имеющем статус премии Минобрнауки в области качества. Уже само участие вуза с представлением необходимых материалов означает, что вуз ассимилировал такие базовые понятия менеджмента качества, как самооценка деятельности, процессный подход, ориентация на постоянное улучшение показателей деятельности и др.

Главная задача конкурса – стимулировать вузы к поиску современных методов управления, установить ориентиры в области развития систем обеспечения качества подготовки специалистов. Отчеты вузов-лауреатов и дипломантов конкурса и заключения экспертной комиссии передаются в управление лицензирования, аттестации и аккредитации Министерства образования и науки Россий-

ской Федерации для учета и проведения процедуры аттестации и аккредитации вузов.

Конкурс состоит из двух этапов. Первым этапом является проведение самооценки деятельности образовательного учреждения на месте и написание соответствующего отчета. Экспертизу отчетов конкурсантов и проведение обследования финалистов осуществляют экспертные комиссии – группы специально подготовленных экспертов, назначаемых Техническим секретариатом конкурса. По результатам экспертизы первого этапа производится отбор вузов для участия во втором, финальном этапе конкурса, в котором оценивается деятельность вузов на местах. Основной целью обследования финалистов является проверка данных и доказательств, приведенных в отчете.

Уже само участие вуза с представлением необходимых материалов означает, что вуз ассимилировал базовые понятия менеджмента качества. В 2005 году университет, принимая в третий раз участие в данном конкурсе, выдержав серьезную конкуренцию из-за большого числа участников, заявок на участие было подано 107, отчеты в технический секретариат представили 52 вуза, на заседании Совета по координации управления качеством высшего профессионального образования Минобрнауки был признан лауреатом конкурса.

При выборе уровня формируемой системы менеджмента качества университета предпочтение следует отдавать системе менеджмента качества всей образовательной деятельности. Одна из основных причин - наличие в каждом нормально и длительно функционирующем вузе уже сложившихся отдельных структурных элементов системы – от довузовской подготовки до аттестации выпускников.

Безусловно, самым главным программным мероприятием явилось формирование и сертификация системы менеджмента качества. Необходимо отметить, что в России по состоянию на начало 2006 года сертифицировали систему менеджмента качества по государственным стандартам ГОСТ Р ИСО и международным стандартам серии ISO 9000 всего 46 образовательных учреждений.

При выборе уровня формируемой системы менеджмента качества университета в 2003 году предпочтение было отдано системе менеджмента качества образовательной деятельности. Одна из основных причин - наличие в университете уже сложившихся отдельных структурных элементов системы - от довузовской подготовки

до аттестации выпускников. В настоящее время в университете программа по разработке и подготовке к сертификации системы менеджмента качества выполнена полностью. С 3 по 5 мая 2006 года в университете прошел внешний аудит и оценка системы менеджмента качества с целью установления возможности ее к сертификации на соответствие требованиям стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2001. По результатам аудита Сибирский государственный индустриальный университет получил сертификат системы менеджмента качества. Этот важный документ ещё раз подтвердил качество образования в университете и статус диплома, который получают выпускники. Уже со следующего года в приложениях, выдаваемых к диплому, будет присутствовать знак соответствия, обозначающий действие в вузе сертифицированной системы менеджмента качества. Это позволит СибГИУ реально конкурировать на международном рынке образовательных услуг, а выпускникам найти работу в любой стране мира.

УДК 378.048.45

Е.Г. Майсеенок

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

ВОСПРОИЗВОДСТВО ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ КУЗБАССА

Проведен анализ сложившейся в Кузбассе системы металлургического образования. Выявлены доминирующие тенденции, определяющие эффективность использования специалистов, их закрепляемость и успешность профессиональной карьеры.

The formed system of metallurgical education in Kuzbass is analyzed. The dominant tendencies determined efficiency of specialists' employment, their repeatability and success of professional career are revealed.

Сегодня металлургический комплекс Кузбасса включает 7 предприятий, производящих чугун, сталь, прокат, в том числе рельсы, алюминий, ферросплавы, кокс. 6 из них расположены в металлургической столице Кузбасса – городе Новокузнецке. Общая численность работающих в отрасли составляет около 60 тыс.

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 Западно-Сибирский и Новокузнецкий металлургические комбинаты, «Уральская горно-металлургическая компания», управляющая компания «Русский алюминий». В настоящее время разработаны и реализуются концепции технической и технологической модернизации и реконструкции предприятий региона. Так, на ЗСМК осуществляется полный перевод сталеплавильного производства на непрерывную разливку стали со значительным расширением его технологических возможностей. В результате технического перевооружения и ком-

плексной реконструкции Запсибметкомбинат в ближайшее время будет производить более 7,0 млн. тонн высококачественной стали в год с соответствующим объемом проката и других позиций товарной продукции и полностью соответствовать мировым требованиям, предъявляемым к эффективно работающей металлургической корпорации.

За последние два года объем производства в металлургии Кузбасса вырос на 12%. Металлургический комплекс обеспечивает около 20% всех налоговых поступлений бюджета Кемеровской области. Можно считать состоявшимся фактом разработку и реализацию стратегических программ развития кузбасских металлургических предприятий.

Среди факторов, определяющих успешную работу металлургических предприятий региона на современном внутреннем и внешнем рынке металлопродукции, одним из важнейших является наличие высокопрофессионального кадрового потенциала, его эффективное воспроизводство и использование. В Кузбассе в течение 75 лет сложилась и устойчиво функционирует система металлургического образования, включающая сегодня 9 учреждений профессионального образования, в том числе 5 начального, 2 среднего и 2 высшего: Сибирский государственный индустриальный университет и Юргинский технологический институт – филиал Томского политехнического университета. Образовательные учреждения готовят рабочих и специалистов по 22 специальностям и профессиям, в том числе НПО - 7 профессиям и 11 специальностям, СПО - 4 специальностям, ВПО - 11 специальностям (таблица 1).

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.

Проводимые в течение 10 последних лет на предприятиях региона модернизация, технологическая реконструкция и глубокая реструктуризация, ориентированная главным образом на повышение их инвестиционной привлекательности, обусловили существенные количественные и качественные изменения структуры работающего персонала и поставили новые задачи перед региональной системой подготовки кадров в целом и перед ее отдельными профессиональными уровнями. Сегодня фактически сложившаяся ситуация выглядит следующим образом. В системе начального металлургического образования в 2005г. подготовлено 300 рабочих по 7 профессиям. Для срав-

нения в этом же году только один Запсибметкомбинат усилиями своего Учебно-производственного центра переобучил и повысил квалификации 12 тыс. рабочих по 400 профессиям. Подготовка внутри предприятий в настоящее время является основным направлением восполнения рабочих кадров. В системе среднего металлургического образования в 2005г. подготовлено 145 специалистов, трудоустроенных главным образом на рабочие должности и массово невостребованных предприятиями как кадровый резерв специалистов. Структура подготовки специалистов с высшим профессиональным образованием приведена в таблице 2. Можно видеть, что в структуре подготовки доля инженеров-металлургов составляет 74,8%, инженеров-механиков – 19,5%, инженеров-технологов коксохимического производства – 3,4%, инженеров-исследователей – 2,3%. Безусловным лидером среди специальностей является «Металлургия черных металлов» – фактически каждый третий из обучаемых (31,0%) получает эту специальность.

Сопоставляя объем подготовки специалистов для металлургии Кузбасса с общероссийским (436 и 5367 в 2005 г.), можно констатировать, что он составляет 8,2%. По контингенту обучаемых на металлургических специальностях ведущий в этом направлении вуз Кузбасса – СибГИУ находится в лидирующей группе российских вузов.

Проводимый ежегодно в течение последних десяти лет на металлургических предприятиях региона мониторинг эффективности использования специалистов, их закрепляемости и успешности профессиональной карьеры позволяет дать следующий кратко- и среднесрочный прогноз по данной профессиональной группе (таблица 3). Можно видеть, что в силу различных причин лишь каждый четвертый выпускник имеет шансы пополнить инженерный корпус и в дальнейшем войти в кадровый резерв металлургических предприятий. Оценка структуры сложившегося кадрового потенциала специалистов позволяет выявить следующие доминирующие тенденции:

- металлургические предприятия региона привыкли жить и работать в условиях определенного избыточного инженерно - кадрового комфорта; так, на ЗСМК конкурс на одно место руководителя или специалиста среднего звена составляет 6-7 человек; относительное число инженеров, занятых на соответствующих квалификации должностях, составляет 11,6% (для сравнения – в Великобритании, США, Франции, ФРГ, Швеции 2,8-3,71%);

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 ЮТИ ТПУ											
	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 давлением																				
	Теплофизика, автоматизация и экология промышленных печей																				
	Литейное производство черных и цветных металлов																				
	Металловедение и термическая обработка металлов																				
	Металлургия техногенных и вторичных ресурсов																				
	Физика металлов																				
	Химическая технология неорганических веществ (технология углекислотных производств)																				
	Металлургия сварочного производства																				
	Металлургические машины и оборудование																				

Таблица 2 – Структура подготовки специалистов с высшим профессиональным образованием в 2005 году

Металлургические специальности	Объем подготовки, чел./%				Основные образовательные программы, реализуемые в сокращенные сроки (очная, очно-заочная формы)
	Всего	Основные образовательные программы (очная форма)	Основные образовательные программы (заочная форма)	Основные образовательные программы, реализуемые в сокращенные сроки (очная, очно-заочная формы)	
Металлургия черных металлов	135/31	92/68,2	21/15,6	22/16,3	
Металлургия цветных металлов	9/2,1	9/100	-	-	
Теплофизика, автоматизация и экология промышленных печей	38/8,7	37/97,4	-	1/2,6	
Литейное производство черных и цветных металлов	33/7,5	28/84,9	-	5/15,1	
Металловедение и термическая обработка металлов	11/2,5	11/100	-	-	
Обработка металлов давлением	55/12,6	40/72,7	-	15/27,3	
Металлургия сварочного производства	45/10,3	22/48,9	-	23/51,1	
Металлургические машины и оборудование	85/19,5	30/35,3	17/20,0	38/44,7	
Физика металлов	10/2,3	10/100	-	-	
Химическая технология неорганических веществ (технология углекислых производств)	15/3,5	15/100	-	-	
ВСЕГО	436/100	294/67,4	38/8,7	104/23,9	

- на предприятиях сформирован достаточно перспективный инженерный корпус активного трудоспособного возраста, в связи с этим для них в ближайшие годы предпочтителен выпускник вуза без явно выраженных карьерных устремлений;

- потребность предприятий в специалистах с высшим профессиональным образованием сохранится в ближайшие 3 года; однако она носит скорее текущий характер и связана с естественной заменой кадров; исключение составляет ЗСМК и НкМК, потребность в работниках с высшим образованием на которых планируется уменьшить в 3 раза.

С учетом вышеизложенного и по данным предприятий региона востребованность инженеров-металлургов в 2006 г и последующие 3-5 лет ожидается на уровне 50-75 чел., что соответствует 0,08-0,12% от числа работающих в отрасли. Этот относительный показатель соответствует аналогичному для металлургии США, Франции, ФРГ, Швеции времен 60-70 годов XX столетия (0,12-0,22). В 1995-2000 гг. этот показатель для перечисленных стран составлял 0,4-0,5.

Таблица 3 – Прогноз трудоустройства и адаптации на предприятиях региона выпускников металлургических специальностей 2005 года

Основные категории трудоустраивающихся	Количество специалистов	% (от общего числа выпускников)
Нетрудоустроившиеся по окончанию вуза	15	До 3,5
Специалисты-женщины, трудоустроившиеся с потерей квалификации или получением новой	44	До 10,0
Специалисты-мужчины, трудоустроившиеся с потерей квалификации или получением новой	30	До 7,0
Трудоустроившиеся или продолжающие трудиться на металлургических предприятиях:	347	До 79,5
• Продолжающие трудиться на рабочих должностях после окончания вуза	142	До 32,5
• Трудоустраивающиеся на рабочие должности	98	До 22,5
• Трудоустраивающиеся и в дальнейшем работающие на уровне среднего звена специалистов	67	До 15,5
• Выдвигающиеся в кадровый резерв и в дальнейшем занимающие должности ведущих и главных специалистов, руководителей	40	До 9,0
ВСЕГО	436	100

УДК 378.147

А.Е. Корочкин, О.Я. Логунова, Т.А. Михайличенко
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Дана оценка курсовому проектированию как важному элементу самостоятельной работы студентов, способствующему развитию творческой активности студентов и обучающего искусству принимать решения. Показана целесообразность рейтинговой оценки знаний в ходе курсового проектирования, обеспечивающей объективную, устойчивую и наглядную оценку знаний и позволяющую в динамике отслеживать ход проектирования с возможностью корректирующих действий по отношению к обучаемому.

The estimation is given to course designing as to the important element of independent work of students and training art to make of the decision. The expediency of a rating estimation of knowledge is shown during the course designing, providing an objective, steady both evident estimation of knowledge and allowing in dynamics to trace a course of designing with an opportunity of adjusting actions in relation to trained.

Самостоятельной работе в современной педагогической науке отводится очень важная роль, которую трудно переоценить. Цель же самостоятельной работы можно сформулировать очень просто: научить студента учиться. С этой точки зрения курсовое проектирование, являющееся неотъемлемой частью процесса обучения в техническом вузе, представляет идеальный способ реализовать в процессе обучения идеи самообразования, индивидуализации и профориентации. Кроме того, в ходе курсового проектирования можно легко организовать контроль и обеспечить мотивационные факторы.

Курсовое проектирование на разных выпускающих кафедрах имеет свои особенности. В некоторых случаях учебная и справочная литература может дать лишь самые общие рекомендации по проектированию, и на определенных этапах выполнения курсового проекта перед студентом встает задача выбора решения из нескольких возможных вариантов. Так, например, в курсовом проекте по отоплению

(кафедра ТГСВ) нет заданий с одинаковой конфигурацией помещений. Алгоритм действий при проектировании в этом случае следующий : создание различных вариантов проектных решений – анализ и обсуждение их с преподавателем – выбор оптимального варианта – защита своего проектного решения. В других случаях, как, например, в теплотехнических расчетах стандартных тепловых агрегатов (кафедра ТФ и ПЭ) может быть составлен алгоритм расчета, и, как правило, он уже составлен. Задача проектирования в этом случае сводится к знакомству с методиками расчетов и умению пользоваться справочной литературой, весьма разнообразной по назначению: это справочники, ГОСТы, СНиПы и др. И чтобы вывести процесс обучения на более высокую ступень усвоения знаний, необходимо усложнить задание, переформулировав его таким образом, чтобы алгоритм действий при проектировании был таким же, как описано выше.

С целью выяснения факторов, которые могли бы оптимизировать процедуру организации и выполнения курсового проекта, проводилось анкетирование студентов трех факультетов (строительного, металлургического и материаловедения и обработки металлов давлением), при этом была возможность сравнить ответы студентов, выполняющих курсовой проект в рамках спецкурса и общего курса. Кроме того, для одной из специальностей этот общий курс был хотя и не специальным, но близким по роду предстоящей деятельности, а для другой – общеобразовательным (из блока ОПД).

Подавляющее большинство опрошенных (89%) считает курсовое проектирование необходимым элементом учебного процесса. Как и следовало ожидать, этого мнения придерживается 100% слушателей спецкурса и 87,5% слушателей общего курса. Подтверждением этого тезиса являются результаты опроса по поводу сложности задания на курсовое проектирование. 46% студентов, выполняющих проект по спецкурсу, предпочли задание повышенной сложности, 46% - средней сложности и лишь 8% высказались за легкое задание. Иная картина среди другой группы респондентов: большая часть студентов считает целесообразным выдачу задания средней сложности (82%), остальные 18% - за легкое задание. Такие ответы могут свидетельствовать об амбициозности и заинтересованности студентов в приобретении профессиональных навыков.

В развитие этой темы студенты отвечали на вопрос: пригодятся ли им в будущей практической деятельности навыки, приобретенные при проектировании. Результаты, в общем, оказались предсказуемыми. 100% слушателей спецкурса уверены, что работа над проектом

поможет им в профессиональной деятельности. Мнение остальных студентов оказалось зависимым еще от одного фактора. Одна группа студентов, изучающих общий курс, обучается на «родственной» специальности, и в будущей деятельности им придется решать проблемы, изучаемые в данном общем курсе. Из этой группы студентов 83% дали положительный ответ на обсуждаемый вопрос, в то время, как в группе с иной профессиональной направленностью лишь 50% уверены в необходимости приобретаемых навыков. По-видимому, сложность и объем курсового проекта в этой группе должны быть откорректированы.

Несколько вопросов анкеты были заданы для выяснения наиболее рациональной организации проектирования. По результатам опроса 62% предпочитают работу над проектом в аудитории в присутствии преподавателя или дома – 38%. Занятия в библиотеке не привлекают никого. При этом предпочтение отдается работе с товарищем (61%) или индивидуальной (30,5%). Работа в коллективе не пользуется популярностью (8,5%). Следует отметить, что большая часть студентов пояснительную записку оформляют на домашних компьютерах, что позволяет многие повторяющиеся элементы расчета выполнять в среде EXCEL и существенно ускорить работу над проектом.

Графическая часть курсового проекта, согласно результатам анкетирования, является наиболее трудоемкой и сложной. В настоящее время подавляющее большинство студентов представляют чертежи в компьютерном исполнении, т.к. изучение компьютерной графики (AUTOCAD) входит в учебную программу. Слабое владение этой графикой и недостаточная обеспеченность компьютерами приводит к тому, что часть студентов пользуется услугами наемных, скажем так, специалистов, при этом часть студентов считает возможным делать это регулярно - 20% , часть – иногда(47%), а часть категорически отвергает такой вариант (33%). Здесь налицо тенденция, с которой приходится считаться, тем не менее, навыки, предусмотренные образовательной программой, должны быть приобретены.

Хотелось бы отметить еще один важный момент, связанный с объективностью оценки за курсовой проект. Сдача и защита проекта, как правило, растянуты во времени. Студенты, сдавшие работы первыми, получают большое количество замечаний, исправляют их и, как показывает практика, передают свой опыт другим студентам. Поэтому позднее сданные проекты выгодно отличаются от первых. Это обстоятельство должно учитываться преподавателем при выставлении оценки, на чем настаивает абсолютное большинство опрошенных

(100%), при этом подавляющее большинство студентов считает, что решающую роль в оценке проекта должна играть его защита.

В заключение – несколько слов о контроле. Нам представляется целесообразной рейтинговая оценка знаний в ходе курсового проектирования, которая, по данным многих исследователей, дает объективную, устойчивую и наглядную оценку знаний, позволяющую к тому же в динамике отслеживать ход проектирования с возможностью корректирующих действий по отношению к обучаемому.

Рейтинговая система была опробована в курсовом проектировании при изучении дисциплин «Теплотехника», «Отопление», «Теплогасоснабжение и вентиляция». Для отдельных разделов курсового проекта были определены сроки выполнения, увязанные с объемом проекта и датой защиты по графику учебного процесса. Структура шкалы для начисления баллов выглядела так:

- | | | |
|---|---|-----------------|
| 1. Соблюдение графика выполнения проекта | - | 40 баллов (max) |
| Опоздание и досрочное представление проекта наказывалось и поощрялось определенным количеством баллов со знаком «минус» и «плюс», соответственно. | | |
| 2. Оформление расчетно-пояснительной записки | - | 25 баллов (max) |
| 3. Графическая часть | - | 25 баллов (max) |
| 4. Защита проекта | - | 60 баллов (max) |

Основными оценочными критериями при выставлении баллов по второму и четвертому пунктам шкалы были обоснованность технического решения и применяемых методик, техническая грамотность, правильность расчетов и умение отстаивать свое решение. Каждая повторная защита снимала 5 баллов. Сумма баллов 130-150 соответствовала оценке «отлично», 110-130 - «хорошо», 90-110 – «удовлетворительно».

Рейтинговый вариант оценки получил одобрение со стороны большинства студентов и, по нашему мнению, позволяет расширить оценочную шкалу рубежного контроля, учесть затраты времени на выполнение различных разделов проекта, производить экспресс-контроль за работой каждого студента и дать стимул к изучению дисциплины, в результате чего сократилось число проектов, сданных после установленного срока, и повысился средний балл успеваемости.

УДК 378

М.В. Круппо, В.В. Резанов
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ГОРОДСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА И ХОЗЯЙСТВА

Обобщен опыт подготовки в ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет» студентов специальности «Городское строительство и хозяйство» по специализации 270105 «Техническая эксплуатация и реконструкция зданий и жилой застройки».

Experience training of students at the state high professional education establishment «Siberian state industrial university» on speciality «Civil engineering and public utilities» on speciality 270105 «Technical exploitation and reconstruction of habitable buildings» has been generalized.

Специальность «Городское строительство и хозяйство» была открыта на строительном факультете при кафедре «Водоснабжение и водоотведение» в Сибирском государственном индустриальном университете в 1998 году. Плановый (на бюджетной основе) прием абитуриентов на специальность – 20 человек. С учетом приема по контрактам (с 2003 года до 20 чел.) формируется 2 группы. В 2003 году состоялся первый выпуск инженеров-строителей по специализации 270105 (290502) «Техническая эксплуатация и реконструкция зданий и жилой застройки».

В настоящее время в учебном процессе и подготовке специалистов участвуют 24 кафедры, 6 из них выпускающие: «Водоснабжение и водоотведение», «Строительное производство и управление недвижимостью», «Архитектура и строительные материалы», «Инженерные конструкции», «Теплогазоснабжение и вентиляция», «Организация перевозок и управление на транспорте».

Безусловно, преподаватели всех выпускающих кафедр имеют большой опыт и знания в области специальных дисциплин и обеспечивают подготовку и выпуск квалифицированных инженеров-строителей. Однако, отмечая, что в последние годы в системе высшего образования России произошли кардинальные изменения, связан-

ные с широкомасштабным представлением огромного количества специальностей самых различных направлений, для эффективного завоевания ниши на рынке образовательных услуг мы должны выпускать специалистов, востребованных на рынке труда.

Основные направления деятельности специалистов, выпускаемых кафедрой, связаны с очень актуальными в настоящее время проблемами технической эксплуатации в жилищно-коммунальном хозяйстве, реконструкции зданий и сооружений. Судя по состоянию и важности отрасли в области жилищно-коммунального хозяйства для системы жизнеобеспечения населения, и по результатам первых трех выпусков специалистов «Городское строительство и хозяйство» востребованность, безусловно, будет только возрастать. Поэтому основополагающим принципом работы всех кафедр в создавшихся условиях является в первую очередь обеспечение качества обучения, позволяющего молодым специалистам приобрести профессиональные знания, умения и навыки для повышения их конкурентоспособности на рынке труда. Добиться должного качества обучения можно сохранением надлежащего уровня преподавания при гибкости учебных программ, использованием новых методов и средств обучения, предоставлением студентам интеллектуальной свободы на разных этапах обучения в вузе.

В связи с этим, на данном этапе перед кафедрой в настоящее время стоит несколько задач.

Главной задачей является обеспечение тесного взаимодействия учебного и научного процессов с производством. Теоретическая подготовка студентов, осуществляемая в стенах университета, должна быть подкреплена трудовой деятельностью по конкретным направлениям во время второй производственной и преддипломной практик. Практики организует выпускающая кафедра «Водоснабжение и водоотведение» в проектно-строительных организациях, на предприятиях стройиндустрии, в жилищно-коммунальном хозяйстве (ЖКХ), оснащенных современным технологическим оборудованием; в проектных, конструкторских и научно-исследовательских институтах; организациях по эксплуатации, монтажу и ремонту строительных объектов, оборудования, инженерных систем – на тех предприятиях, где возможно изучение материалов, связанных с темой выпускной квалификационной работы. Тесное сотрудничество с ведущими проектными и производственными организациями сложилось задолго до открытия специальности. Так сложилось, что за тридцатилетнюю деятельность кафедры по подготовке специалистов «Водоснабжение

и водоотведение» из стен вуза вышли инженеры-строители, которые в настоящее время занимают ведущие высокие должности на предприятиях жилищно-коммунального хозяйства и строительства города Новокузнецка и области: Администрация города Новокузнецка; городской Комитет ЖКХ и Б; подразделение ЖКХ «Водсервис» ЗАО «Водоканал»; «Служба единого заказчика» Новокузнецкого района; проектные и научно-исследовательские институты - ОАО «СибНИИ-стройпроект», ОАО ПИ «Сибирский водоканалпроект», ФГУП ПИ «Гражданпроект», ФГУП ПИ «Сибирский Сантехпроект», ОАО «Уг-лестринНИИпроект», ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат» («НкМК»), ОАО «Западно-сибирский металлургический комбинат» (Запсиб). Эти предприятия являются основной базой производственных практик, что позволяет использовать знания и практический опыт высококвалифицированных специалистов этих организаций для практической подготовки студентов специальности «Городское строительство и хозяйство». Специалисты этих предприятий самым активным образом привлекаются к учебному процессу: руководству второй технологической и преддипломной практик, руководству дипломным проектированием, рецензированию выпускных квалификационных работ, участию в ГАК, подготовке студентов на научно-практические конференции и выставки.

Ежегодно для студентов пятого курса организуются поездки на международные выставки-ярмарки в город Кемерово, председателем и организатором которой является заведующий кафедрой «Водоснабжение и водоотведение». На ярмарке студенты участвуют в конференции, знакомятся с последними достижениями науки и техники, подбирают необходимый материал для дипломирования.

Второй, не менее важной задачей является выявление творческих, научных способностей студентов, цель развития которых - активизация подготовки специалистов, для кафедры – систематизация результатов дипломного проектирования, побуждение студентов к разработке комплексного задания под руководством преподавателей соответствующего профиля. Составные части комплексного проекта должны отражать весь комплекс аспектов будущей профессиональной деятельности инженеров специальности «Городское строительство и хозяйство»: реконструкция существующей застройки, благоустройство городских территорий и отдельных элементов городской среды, конструктивная оценка инженерных конструкций и сооружений, концептуальная разработка вопросов технической эксплуатации и реконструкции зданий.

В свете решения этих задач кафедра два раза в год проводит конференции студенческих работ: в мае - научно-практическую по итогам научных работ и дипломному проектированию; в ноябре – практическую по итогам производственных практик. В 2004 году был организован смотр дипломных проектов в администрации города Новокузнецка с участием представителей администраций городов юга Кузбасса, управления главного архитектора. В итоге государственная аттестационная комиссия, специалисты, городская общественность были ознакомлены с новыми интересными предложениями по реконструкции жилых застроек 40-х и 70-х годов прошлого века, выполненных на реальной основе для Центрального района города Новокузнецка. Государственной аттестационной комиссией дипломные проекты были рекомендованы к внедрению.

В 2005 году по решению Учебно-методического объединения (УМО) строительных вузов России в нашем университете был организован и проведен второй региональный отборочный тур конкурса дипломных проектов и работ для специализации 270105 «Техническая эксплуатация и реконструкция зданий и сооружений жилой застройки», по результатам которого на первый тур Всероссийского конкурса были рекомендованы две дипломных работы. Комиссия первого тура Всероссийского конкурса, проходившего в Московском институте коммунального хозяйства и строительства, высоко оценила комплексный дипломный проект «Реконструкция и благоустройство территории группы жилых домов по ул. Воровского», удостоив его диплома первой степени Ассоциации строительных вузов России.

Таки образом, опыт первых трех выпусков инженеров по специальности «Городское строительство и хозяйство» показал, что основная концепция подготовки специалистов выбрана верно, за этот период организован не только учебный процесс в вузе, но и сформирована надежная производственная база для прохождения практик студентов, выполнения выпускных квалификационных дипломных проектов и работ. Выпускники данной специализации востребованы на рынке труда.

УДК 378.147

Т.А. Михайличенко

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

НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ И ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

Рассматриваются некоторые принципы формирования творческой активности на базе организации самостоятельной работы студентов в техническом вузе. Обобщен опыт реализации этих принципов на кафедре теплофизики и промышленной экологии ГОУ ВПО «СибГИУ». Обсуждены и проанализированы наиболее эффективные и хорошо зарекомендовавшие себя педагогические приемы по организации самостоятельной работы студентов и ее контролю.

Development of creative thinking based on fostering independent studies at the technical university level. Application of these principles in the Department of Thermophysics and Industrial Ecology at the State Educational Institution of Higher Professional Education (Siberian State Industrial University). Discussion and analyses of the most effective and well-established pedagogical approaches to foster and evaluate independent studies.

В настоящее время процесс обучения в высшей школе, направленный, прежде всего, на формирование теоретических знаний и практических навыков, а также опыта творческой активности в будущей профессиональной деятельности, имеет строгое научное обоснование. Современные дидактические системы, имеющие в своей основе понятие принципов и методов обучения, ставят целью совершенствование организации процесса обучения, разработку новых обучающих систем и технологий (работы Бабанского Ю.К., Загвязинского В.И., Скаткина М.Н. и др.) Принципы и методы обучения классифицированы по самым разнообразным признакам, но наиболее совершенной и современной представляется классификация, построенная на понятиях уровней усвоения знаний и процесса обучения как процесса запоминания и извлечения информации. При этом в любой классификационной группе как безусловно позитивный элемент следует отметить самостоятельную работу, т.к. именно она

дует отметить самостоятельную работу, т.к. именно она дает стимул к творчеству и умению решать задачи выше второго уровня сложности.

Ниже изложен тридцатилетний опыт организации самостоятельной работы студентов на кафедре теплофизики и промышленной экологии СибГИУ. При разработке методического обеспечения различных форм самостоятельной работы учитывалось то обстоятельство, что в средней школе, а затем и в высшей до сих пор основное внимание уделяется решению типовых, стандартных задач, в результате у студентов формируется стереотип шаблонных действий и решений. Одной из главных методических задач обучения в высшей школе видится сближение процессов запоминания с процессами понимания. В качестве методической «скорой помощи» в этом вопросе были использованы идеи исследования управления памятью, и, конкретно, памятью произвольного запоминания, развитые американцем Р.Аткинсоном, который ввел новую трактовку подкрепления как внешнего фактора произвольного запоминания. По Р.Аткинсону, подкрепление оказывает влияние как на удержание информации, так и на извлечение ее из памяти. В процессе обучения имеет место перенос информации в то или иное хранилище памяти, где она и удерживается до определенного момента времени. Подкрепляющее событие, согласно этой теории, являясь способом управления информационными потоками, выполняет две функции: во-первых, вводит в действие процессы, вызывающие перенос, и, во-вторых, осуществляет выбор информации для переноса.

Следует отметить еще два момента, которые необходимо учитывать при разработке методического обеспечения при организации самостоятельной работы – это контроль и мотивация, которые неразделимы, т.к. мотивация предполагает контроль. В процессе обучения важным стимулирующим фактором является вознаграждение за правильный ответ. В этом смысле подкрепление влияет не только на заучивание, т.е. на аккумуляцию информации в тех или иных хранилищах памяти, но и на ее извлечение.

При разработке конкретных мероприятий по самостоятельной работе студентов – теплотехников вопрос обоснованности применения подобных педагогических приемов уже давно не стоит: современное образование немислимо без самообразования из-за огромных потоков информации, которые необходимо осмыслить и уметь творчески применять в практической деятельности будущим специалистам-теплотехникам. Нельзя сказать, что выпускники школ в полной мере готовы к самообразованию, хотя, справедливости ради, можно

отметить четкую ориентацию многих школ, главным образом, гимназий и лицеев, на самостоятельную работу, направленную на творчество, в результате которой молодые люди уже в средней школе имеют научные разработки в области науки, техники, социологии, искусства и др. областях.

Самостоятельная работа студентов-теплотехников должна содержать два обязательных элемента: во-первых, научить будущего специалиста ориентироваться в обширных, к тому же постоянно обновляющихся и расширяющихся информационных полях и анализировать эти потоки информации с целью выбора оптимального решения и, во-вторых, научить анализировать теплотехническую сущность технологических процессов, происходящих в различных тепловых агрегатах и быть готовыми на определенных этапах развития производства предложить, спроектировать и внедрить в производственный процесс современные достижения теплотехники. Основными принципами реализации отмеченных выше элементов самостоятельной работы являются: углубленная профессиональная подготовка, индивидуализация обучения и четко отлаженный контроль с позиций мотивации процесса обучения.

В рамках действующего учебного плана по специальности в разные годы на кафедре теплофизики и промышленной экологии были опробованы и хорошо себя зарекомендовали следующие педагогические приемы.

1. Студенческая научно-исследовательская работа. Это, пожалуй, единственный регламентированный учебным планом элемент самостоятельной работы студентов в вузе, для которого документально определено и количество часов, и время и место в графике учебного процесса. Значение и возможности этого вида самостоятельной работы трудно переоценить. На кафедре сложилась традиция знакомить студентов с тематикой предстоящих исследований и предоставлять возможность выбора тем. Эту работу студенты выполняют на протяжении 8 и 9 семестров и завершают ее докладом на студенческой конференции.

2. Умение работать в информационных полях. Изначально на кафедре эта форма самостоятельной работы трактовалась и практиковалась как умение работать с журнальной технической литературой. Это достаточно распространенный и популярный метод самостоятельной работы, но, как правило, он не использует в полной мере все свои возможности, т.к. зачастую сводится лишь к написанию рефератов на заданную тему. На кафедре данный вид самостоятельной рабо-

ты начинается на первом курсе и продолжается вплоть до дипломирования. На практических занятиях по введению в специальность студентов знакомят с основными журналами по специальности, рассказывают, как работать с журнальными статьями. Учитывая важность понимания графического представления информации, студентов в курсе «Введение в специальность» и в спецкурсах обучают на конкретных примерах анализу графиков. Каждый студент получает домашнее задание из имеющихся на кафедре методических разработок, в котором он должен письменно и подробно проанализировать предложенные зависимости. На следующем этапе студенты получают индивидуальное задание на проработку статей по специальности. На старших курсах студенты приводят подробный обзор периодической журнальной литературы по теме исследования в курсовой научно-исследовательской работе и в специальной части дипломного проекта. Анализ графического представления информации в течение многих лет был введен в программу выпускного экзамена по специальности. Контроль за данной самостоятельной работой осуществляется в ходе индивидуального или группового собеседования, причем студенты явно отдавали предпочтение второму способу, или в виде организованной по результатам проработки специально подобранного блока статей учебной игры, которая проводится по тем же правилам, что и в пункте 3.

Анкетирование студентов 5 курса, проведенное после последнего экзамена, показало, что подавляющее большинство студентов (96%) считают полезным и необходимым чтение специальной литературы, 57% студентов отметили повышение интереса к выбранной специальности в результате чтения журналов по специальности, 75% студентов указали, что эта самостоятельная работа помогла им глубже понять материал по ряду спецкурсов. При этом 80% студентов хорошо понимали большую часть прочитанного, и лишь 4% признались, что прочитанный материал понимали плохо.

За последние несколько лет этот вид самостоятельной работы, как уже отмечалось, претерпел существенные изменения в связи с тем, что качественно изменились требования к подготовке специалистов. По новым учебным планам, действующим с 2000 года, существенно усилена гуманитарная составляющая образования, введены новые учебные дисциплины, такие, как «Управление качеством», «Защита интеллектуальной собственности» и др. Эти нововведения, поднимая качество подготовки инженера на более высокую ступень, одновременно требуют умения будущего специалиста ориентировать-

ся не только в вопросах профессиональной деятельности, но и в правовых вопросах, вопросах мониторинга качества и многих других.

3. Ситуационный анализ, более известный как деловая игра. Это, бесспорно, весьма продуктивный и популярный в университете прием самостоятельной работы студентов, требующий значительной подготовки как со стороны студентов, так и со стороны преподавателя. Очень важно, что данный метод может быть реализован в рамках традиционных практических занятий, трансформированных с учетом конкретной специальности студентов и проводимых в виде игры с элементами ситуационных задач разной степени сложности, которая определяется преподавателем. При трансформации обычное задание на деятельность заменялось некой вводной, формулирующей практическую ситуацию, в которой обучаемый мог быть как исполнителем указаний (вариант – подчиненный), так и генератором указаний на деятельность (вариант – начальник), причем от исполнителя требовалось подробно описать методику выполнения некоторых технических действий по заданию генератора, а от генератора требовалось сформулировать комплексное задание для решения конкретной практической ситуации, как правило, выходящей за рамки стандартного протекания технологического процесса. Ситуационные задачи могут решаться как парами «студент-студент», так и парами «студент-преподаватель», причем в последнем случае наибольшая эффективность обучения наблюдалась, если преподаватель играл роль исполнителя низкой квалификации, требующего от начальника достаточно подробных указаний. В любом случае ситуация контролировалась преподавателем, а ее динамика могла меняться по ходу действия путем внесения новых элементов.

В качестве примера можно привести ряд ситуационных задач, возникающих в практике инженера-технолога в металлургии и машиностроении, для решения которых необходимо осознанное применение базовых положений курса «Теплотехника», а именно, знание теплотехнических основ процесса нагрева металла, умение выбрать и обосновать рациональный режим и способ нагрева, умение правильно выбрать тип печи, наиболее полно отвечающей данному виду продукции и термообработки и др. В качестве руководства к действию студентам предлагалась стандартная блок-схема разрешения возникших ситуаций, т.е. поиска ответа: возможные причины явления-«дефекта»(например, повышенного окисления при нагреве, коробления длинномерных изделий при термообработке и др.) – возможность реализации этих причин в конкретной анализируемой ситуации – спо-

собы исследования, необходимые для подтверждения или опровержения наличия данных причин – в случае подтверждения наличия «дефектных» факторов указать возможные способы их устранения. При этом в процессе обсуждения участвуют не только непосредственные участники ситуации, но и другие студенты – в качестве экспертов. Игра проходит, как правило, очень оживленно, хотя иногда студентам не хватает культуры дискуссии. Конечно, подобные занятия требуют предварительной подготовки и со стороны обучающего, и со стороны обучаемых: разработка ситуационных заданий, подготовка блока статей по каждому заданию для проработки их студентами, распределение ролей.

4. Самостоятельная работа во время прохождения производственной практики. Выдача индивидуальных заданий студентам-практикантам основной целью ставит приобретение профессиональных навыков. Задание выдавалось на группу из 2-3 студентов и предусматривало анализ работы печей, выполняющих одинаковые функции, например, обслуживающих станы одного профиля, но имеющих различную конструкцию. Другой вариант задания – анализ работы печей одной конструкции, но обслуживающих различные станы. Поскольку при получении задания студенты не получают никаких методических рекомендаций, они должны самостоятельно выбрать параметры анализа и сравнения тепловых агрегатов и найти необходимые данные в цехе. Для решения поставленной задачи студенты вынуждены работать с литературой (учебники, монографии, статьи в периодической печати, заводские научно-технические отчеты), беседовать с обслуживающим персоналом печей, работниками теплотехнической лаборатории. Индивидуализация задания и отсутствие шаблонных методов его выполнения заставляет студентов более ответственно относиться к прохождению практики, дает более глубокое знакомство с работой тепловых агрегатов, учит инженерному мышлению, прививает навыки коллективного труда и общения с людьми.

5. Традиционные виды занятий со студентами, дополненные модулем, вносящим в работу элементы исследования. Не всегда для повышения мотивационного фактора в процессе обучения необходимо вводить новые лабораторные или практические занятия. Иногда достаточно по-иному сформулировать классическое задание, транслируя его на конкретную специальность, требуемую сложность задания, зависящую от того, какого уровня усвоения знаний хотелось бы достичь на занятиях, и др. условия. Например, на практическом занятии по решению задач стационарной теплопроводности на примере

плоской стенки в традиционном варианте группы студентов, работающие в монодидактической системе «малая группа» по индивидуальным заданиям рассчитывают потери тепла через кладку печи. В новом, исследовательском варианте задание выдается тем же группам, но при этом предусмотрены вариации факторов, оказывающих влияние на величину потерь тепла через кладку (температура печи, различные комбинации толщин слоев рабочего слоя огнеупора и изоляции и др.). После расчета результатов в каждой группе проводится обобщение полученных результатов и их обсуждение и анализируется соответствие полученных данных теории.

Этот же принцип легко реализуем и при выполнении курсовых работ и проектов, например, при выполнении курсовой работы по технической термодинамике студенты, помимо основного расчета паросиловой установки, выявляют факторы, повышающие эффективность работы установки. Другой пример: коллективное выполнение курсового проекта по термическим печам. В этом случае группе студентов из 2-3 человек выдавалось одинаковое задание (марка стали, операция термообработки и др.), но конструктивное решение у каждого было свое. На защите курсового проекта каждый разработчик отстаивал свой вариант проекта и обосновывал его преимущества.

Важным заключительным этапом самостоятельной работы является контроль. Практически все виды самостоятельной работы укладываются в схему рейтинговой системы контроля, которая была опробована для оценки знаний при курсовом проектировании и при изучении спецкурса «Теплотехника» на практических занятиях и в ходе выполнения курсовой работы. В качестве методического обеспечения готовились вопросы для самоподготовки, план-график прохождения контрольных точек, карты-опросники, индивидуальные задания и др. Положительными моментами данной системы контроля являются возможность оперативного и объективного контроля знаний, возможность отследить динамику успеваемости всех студентов в течение семестра, высокую заинтересованность студентов в результатах своей работы (при включении в процесс мотивационных факторов), проявляющуюся в активности студентов на занятиях и сдаче контрольных заданий в строго установленные сроки.

В заключение следует отметить, что все рассмотренные методы организации самостоятельной работы студентов дают возможность в полной мере реализовать инициативу и творческую активность студентов, и могут быть весьма продуктивными в реализации многоуровневых программ подготовки специалистов.

УДК 628.15(075)

М.В. Круппо, В.В. Резанов, К.А. Романов
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАСЧЕТАХ СИСТЕМ ВНУТРЕННЕГО ВОДОПРОВОДА

Изложены возможности работы программы по расчету внутренних систем водоснабжения на ЭВМ. Обобщен опыт использования программы расчета внутренних сетей водопровода и горячего водоснабжения при курсовом и дипломном проектировании для студентов специальностей «Водоснабжение и водоотведение», «Городское строительство и хозяйство».

Potential project of working programm on calculation of water supply systems on IBM. Have been represented as a result of using calculation programm of domestic waterway and heat water supply on the graduation paper for students on speciality «Water supply and sewerage» and «Civil engineering and public utilities».

Одной из эффективных форм развития способностей, творческой инициативы студентов является применение компьютерных технологий с использованием обучающих, контролирующих и расчетных программ. Курсовые проекты «Санитарно-техническое оборудование зданий» для студентов специальности «Водоснабжение и водоотведение» и «Санитарно-техническое оборудование зданий и сооружений» для студентов специальности «Городское строительство и хозяйство» выполняются соответственно на 5 и 4 курсах обучения в вузе. Как правило, к этому времени большинство студентов хорошо владеют компьютером, некоторые в достаточной степени элементами программирования. Однако результаты применения ЭВМ в данном проекте ограничивались выполнением чертежей в системе AutoCAD 2000/2002. С другой стороны гидравлические расчеты систем холодного и горячего водопровода занимают достаточно большой объем и для вариантного проектирования, особенно в рамках курсового проекта, времени недостаточно.

В связи с этим была разработана программа расчета внутреннего водопровода. В соответствии СНиП 2.04.01-85* «Внутренний

водопровод и канализация зданий» был разработан алгоритм и составлена программа для ЭВМ «СТОЗиС» с использованием языка ПАСКАЛЬ. Программа позволяет производить несколько вариантов расчетов с различными исходными данными и определять оптимальное технологическое решение при одновременном удовлетворении жестких ограничений по гидравлическим условиям. Гидравлический расчет внутреннего водопровода, включая подбор оборудования, приборов учета воды, производится в виде возможных вариантов. В программу заложены сортамент и гидравлические характеристики труб водогазопроводных ГОСТ 3262-75, «МЕТАПОЛ», «ФУЗИОТЕРМ», «PRINETO», характеристики счетчиков воды. Выбор оптимальных параметров системы может осуществляться по двум вариантам работы с программой: исходя из условий, заданных пользователем (материал труб); исходя из оптимальных гидравлических условий работы сети (выбор экономичных диаметров трубопровода, типоразмеров счетчиков воды, требуемого напора на вводе). При отсутствии практического опыта у студентов в курсовом проекте сравнение вариантов машинного и ручного расчетов предлагается только для труб стальных водогазопроводных ГОСТ 3262-75*, что имеет познавательное значение. При выполнении дипломного проекта в разделе «СТОЗиС» студенты могут производить независимые расчеты внутренних систем водоснабжения для различных конфигураций сети, материалов труб, вариантного конструирования, что значительно снижает трудоемкость расчетов, дает обширный и объективный материал для проведения технико-экономических расчетов. Данная программа может быть использована для реального проектирования инженерных сетей внутреннего водопровода. Программа работает в диалоговом режиме, запрашивая следующие данные у пользователя: степень благоустройства, количество объектов водопользования, количество этажей, количество квартир на этаже, число проживающих в одной квартире или общее число потребителей; длину расчетных участков, число приборов в каждой квартире или в целом на объекте.

Результаты расчетов выводятся на монитор и распечатываются на принтере в виде таблиц: данные объекта водопользования; гидравлический расчет внутреннего водопровода (номера участков, число приборов на участке, вероятность их действия, длина, норма расхода приборами, расходы по участкам сети, диаметры трубопроводов, материал труб, скорости, единичные потери напора на погонный метр, потери напора на каждом участке с учетом местных сопротивлений, общие потери напора в системе в целом); параметры и марка прибо-

ров учета водопотребления (счетчиков). Возможно включение в программу подбора насосов, расчета водонапорных баков и другого оборудования. Однако, к настоящему времени фирмы изготовители оборудования, как правило, предлагают свои программы, поэтому мы не сочли необходимым для этой части разрабатывать отдельный файл в своей программе.

Программа позволяет вход в файл для редактирования результатов расчета и может использоваться для расчета сети из водогазопроводных, полиэтиленовых труб отечественного и импортного производства.

Следующим шагом в совершенствовании процесса выполнения расчетов систем водоснабжения и водоотведения зданий и сооружений представляется создание программы для расчета внутреннего водоотведения.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Сборник научных трудов «Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии» подготавливается к печати Сибирским государственным индустриальным университетом совместно с отделением металлургии горно-металлургической секции РАЕН.

В сборник могут быть представлены работы по направлениям:
металлургия черных и цветных металлов и сплавов;
порошковая металлургия, композиционные материалы и покрытия;
физика металлов и металловедение;
экономика и управление на предприятиях;
проблемы высшего образования.

Рукописи статей, оформленные в соответствии с нижеизложенными требованиями, направляются в Сибирский государственный индустриальный университет.

К рукописи прилагаются:

разрешение ректора или проректора вуза на опубликование результатов работ;
рекомендация соответствующей кафедры высшего учебного заведения или научного семинара академических институтов или отраслевых НИИ;
рецензия, подготовленная специалистом, имеющим ученую степень, заверенная по месту работы рецензента,
акт экспертизы, подтверждающей возможность опубликования работы в открытой печати;
сведения об авторах (Ф.И.О. полностью, уч. степень, звание, вуз, служебный и домашний адрес, телефон).

Рукописи направляются в редакцию в одном экземпляре. Текст рукописи должен быть отпечатан на одной стороне стандартного листа белой бумаги формата А4 с полями 25 мм с каждой стороны. Объем статьи (включая аннотацию, иллюстрации, таблицы, библиографический список) не должен превышать 6-8 страниц машинописного текста, напечатанного через 1,5 интервала, размер шрифта 14 пт. Последнюю страницу рекомендуется занимать полностью.

Текст аннотации на русском и английском языке объемом порядка 1/4 страницы печатается через 1 интервал и помещается после заглавия статьи. Текст аннотации должен содержать только краткое описание публикуемого материала.

Иллюстрации представляются в одном экземпляре; они должны быть выполнены тушью на белой бумаге или кальке и скомпонованы на одном или двух стандартных листах формата А4 (с полным их заполнением). Размер иллюстрации (иллюстраций) вместе с наименованием,

поясняющей надписью и номером не должен превышать 250x170 мм. Страницы, занятые иллюстрациями, включают в общую нумерацию страниц.

Цифровой материал оформляется в виде таблиц, имеющих заголовки и размещаемых в тексте по мере упоминания. Не рекомендуется делить головки таблиц по диагонали и включать графу «№ п/п».

Перечень литературных источников должен быть минимальным. Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-84: а) для книг – фамилии и инициалы авторов, полное название книги, номер тома, место издания, издательство и год издания, общее количество страниц; б) для журнальных статей – фамилии и инициалы авторов, название статьи, полное название журнала, год издания, номер тома, номер выпуска, страницы, занятые статьей; в) для статей из сборника – фамилии и инициалы авторов, название статьи, название сборника, место издания, издательство, год издания, номер или выпуск, страницы, занятые статьей.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Иностранные фамилии и термины следует давать в тексте в русской транскрипции, библиографическом списке фамилии авторов, название книг и журналов приводят в оригинальной транскрипции.

В начале статьи указывается индекс УДК (ББК). Название организации приводится полностью и размещается после фамилии авторов.

Первая страница рукописи подписывается внизу всеми авторами статьи. Число авторов не должно превышать пяти; количество публикаций одного автора – не более двух в одном выпуске.

Для создания современного облика настоящего сборника, улучшения качества печати предусмотрен компьютерный набор. Поэтому, наряду с вышеуказанными документами и отпечатанными на бумаге статьями, в адрес редколлегии необходимо выслать дискету с текстом статьи, включая таблицы и подрисуночные подписи. Набор текстового файла осуществляется в редакторе *Microsoft Word for Windows (ver. 6.0, 7.0. 97, 2000)*.

Графические объекты представляются в файлах (любого графического формата). При отсутствии такой возможности высылаются рисунки, выполненные тушью на бумаге, фотографии – в оригинале.

Срок представления материалов для следующего выпуска «Вестника горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии» – до 1 марта 2007 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 Темлянцев Н.В.

Изд.лиц. № 01439 от 05.04.2000 г. Подписано в печать 15.08.2005
Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 12,5 Уч.-изд.л. 13,3 Тираж 300 экз. Заказ 588

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательство СибГИУ