

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
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 29

Москва
Новокузнецк
2012

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. 29 / Редкол.: Л.П. Мышляев (главн. ред.) [и др.]: Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2012. – 196 с., ил.

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.

Сборник реферируется в РЖ Металлургия.

Электронная версия сборника представлена на сайте <http://www.sibsiu.ru> в разделе «Издательская деятельность»

Ил. 75, табл. 13, библиогр. назв. 146.

Редакционная коллегия: д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, вице-президент РАЕН *В.Ж. Аренс*; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН *Л.П. Мышляев* (главн. редактор), СибГИУ; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН *Г.В. Галевский* (зам. главн. редактора), СибГИУ; д.т.н., проф., чл.-корр. РАЕН *М.В. Темлянец* (зам. главн. редактора), СибГИУ; д.т.н., проф. *И.В. Буторина*, СПбГПУ; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, академик РАН *А.В. Елютин*, МИСиС; к.х.н., проф., д.ч. МАНЭБ *Н.М. Кулагин*, СибГИУ; д.т.н., проф., д.ч. РАЕН *В.А. Роменец*, МИСиС; д.т.н., проф., советник РАЕН *В.В. Руднева* (отв. секретарь), СибГИУ; д.т.н., проф., д.ч. АИН *Н.А. Спирин*, УГТУ-УПИ; 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, 2012

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ И РУКОВОДИТЕЛЯХ АВТОРСКИХ КОЛЛЕКТИВОВ

- Анохина Н.К. д-р культурологи, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
- Галевский Г.В. д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ,
г. Новокузнецк
- Громов В.Е. д-р физ.-мат. наук, проф., д.ч. Международной
академии энерго-информационных наук, СибГИУ,
г. Новокузнецк
- Горюшкин В.Ф. д-р хим. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
- Козырев Н.А. д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
- Мышляев Л.П. д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ,
г. Новокузнецк
- Перетяцько В.Н. д-р техн. наук, проф., чл.-корр. Академии инженер-
ных наук, СибГИУ, г. Новокузнецк
- Руднева В.В. д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
- Селянин И.Ф. д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
- Темлянцев М.В. д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РАЕН, СибГИУ,
г. Новокузнецк
- Черепанов К.А. д-р техн. наук, проф., д.ч. МАНЭБ, СибГИУ,
г. Новокузнецк
- Якушевич Н.Ф. д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	7
МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	8
<i>Ю.В. Горюшкина, С.В. Зенцова, Г.М. Тираков, Г.Л. Борщевская, В.Ф. Горюшкин</i>	
Синтез и термические константы плавления бромида лантана (III)	9
<i>И.В. Строкина, Н.Ф. Якушевич</i>	
Термодинамические параметры диссоциации оксидов железа до шпинелей в системе Fe-C-O ₂ -H ₂	14
<i>А.Н. Порядина, А.М. Анасов</i>	
К проблеме получения особо чистых металлов нанокристаллического уровня ...	20
<i>В.М. Павловец</i>	
Перспективы повышения качества окучкованного железорудного сырья за счет расширения функциональных возможностей агрегатов для подготовки шихты к спеканию	28
<i>В.М. Павловец</i>	
Развитие теплотехнологий на основе закономерности процесса спекания дисперсных систем.....	41
<i>А.А. Уманский, В.Н. Кочергин</i>	
Исследование влияния технологических параметров внепечной обработки на качество стали в условиях ККЦ-1 «ЕВРАЗ ЗСМК».....	53
<i>М.В. Темлянец, К.Е. Костюченко, М.В. Матвеев, Е.Н. Темлянцева</i>	
Исследование влияния температурно-временного фактора и состава атмосферы на обезуглероживание алюмопериклазоуглеродистых ковшевых огнеупоров...58	
<i>В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, О.Г. Приходько, В.Н. Алхимов, П.А. Кемаев</i>	
Влияние шихтовой заготовки с эффектом термовременной обработки на механические и технологические свойства силуминов	62
<i>В.П. Антонов, А.А. Усольцев, Н.И. Таран, В.Я. Климов, Н.И. Швидков</i>	
Расчет условий заливки, обеспечивающих охлаждение углеродистой стали до температуры нулевой жидкотекучести при заполнении нижней части слитка...65	
<i>М.В. Филиппова, А.В. Бахаев, В.Н. Перетяцько, А.А. Фёдоров</i>	
Безотходная штамповка шестерни	69
<i>В.М. Шурупов, Н.А. Козырев, В.Ф. Игушев</i>	
Восстановление и упрочнение башмака скольжения комбайна KSW 460.....	73
<i>Н.Н. Малушин</i>	
Комплексные технологии упрочнения деталей металлургического оборудования, основанные на применении плазменной наплавки	76

ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	82
<i>И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Л.С. Ширяева, М.А. Терентьева</i>	
Кинетика и механизм роста наночастиц тугоплавких соединений в условиях плазменного синтеза	83
<i>Л.С. Ширяева, И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева</i>	
Исследование плазменного синтеза нанокарбида хрома.....	94
<i>И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Л.С. Ширяева, М.А. Терентьева</i>	
Моделирование взаимодействия потоков хромсодержащего сырья и газа – теплоносителя в трехструйном плазменном реакторе	102
ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ.....	111
<i>В.В. Коваленко, В.Е. Громов</i>	
Формирование монотонного градиента кривизны – кручения кристаллической решетки аустенитной нержавеющей стали в процессе многоцикловых усталостных испытаний	112
<i>Е.С. Ващук, Е.А. Будовских, В.Е. Громов</i>	
Формирование структуры и свойств поверхности стали 45 при электровзрывном боромеднении и последующей электронно-пучковой обработке.....	116
<i>В.В. Коваленко, В.Е. Громов</i>	
Эволюция и фрагментация структуры пластинчатого перлита в высокоуглеродистой стали в процессе прокатки	124
<i>Д.А. Романов, Е.А. Будовских, В.Е. Громов</i>	
Деградация электровзрывных покрытий систем W-Cu, Mo-Cu, Ti-W- Cu, в ходе ускоренных испытаний на контактную износостойкость	129
ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ	133
<i>Л.Ю. Сазыкина, К.Г. Венгер, А.А. Линков, Ж.М. Гафиятов, Л.П.Мышляев</i>	
Особенности управления процессом обогащения углей.....	134
<i>К.А. Черепанов, А.И. Мирошник, В.К. Черепанова, З.А. Масловская</i>	
О реализации концепции устойчивого промышленного развития в Кузбассе.	144
<i>М.В. Темлянцев, Н.В. Темлянцев, Е.М. Запольская</i>	
Исследование газообразных выбросов вредных веществ при разогреве периклазоуглеродистых ковшевых футеровок	147
<i>Ю.К. Осипов, О.В. Матехина</i>	
Шум – серьезная экологическая проблема	152
ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ	157
<i>Н.К. Анохина</i>	
Вопросы образования и науки современной высшей школы	158

<i>Н.К. Анохина, О.П. Бабицкая</i>	
Новый акцент философии и математики в современном естествознании	164
<i>Т.А. Михайличенко, О.Б. Громова</i>	
Образовательные стандарты нового поколения: пути и возможности их реализации в техническом вузе.....	168
<i>Т.А. Михайличенко, А.Е. Корочкин, И.А. Синявский</i>	
Модульный подход к организации учебного процесса	172
<i>О.А. Семина, А.П. Семин</i>	
Модель профессиональной подготовки молодежи к занятости на рынке труда.....	176
<i>Е.Г. Оршанская</i>	
Повышение уровня мотивации и готовности студентов вузов к осуществлению профессиональной деятельности.....	182
<i>В.М. Шурупов, Н.А. Козырев, В.Ф. Игушев</i>	
Тренажер для обучения сварщиков.....	186
ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ И БИОГРАФИИ.....	189
Профессор М.Я. Минцис в металлургии алюминия России: к 60-летию производственной и научно-педагогической деятельности	190
К сведению авторов	194

ПРЕДИСЛОВИЕ

29-й выпуск сборника научных трудов «Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии» содержит статьи российских ученых, посвященные решению различных научно-технических проблем современной металлургии и материаловедения. Теоретические и прикладные исследования выполнены авторскими коллективами сотрудников Сибирского государственного индустриального университета, Московского государственного вечернего металлургического института, Юргинского технологического института (филиала) ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», ООО «Объединенная компания «Сибшахтострой».

В традиционных разделах сборника научных трудов представлены результаты исследований, направленные на совершенствование технологий производства и обработки металлов в металлургии и машиностроении, повышение качества и конкурентоспособности отечественной металлопродукции, разработку систем управления, решение экологических проблем на промышленных предприятиях. В разделе проблемы высшего образования представлены статьи, посвященные переходу высших учебных заведений на Федеральные государственные образовательные стандарты, разработке новых образовательных технологий.

Редакционная коллегия благодарит авторов за предоставленные материалы и приглашает принять участие в очередном 30-м выпуске сборника научных трудов.

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

УДК 546.655'141(546.05+548.226)

Ю.В. Горюшкина, С.В. Зенцова, Г.М. Тираков, Г.Л. Борщевская,
В.Ф. Горюшкин

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

СИНТЕЗ И ТЕРМИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ ПЛАВЛЕНИЯ БРОМИДА ЛАНТАНА (III)

Взаимодействием оксида лантана (III) с бромоводородной кислотой и дальнейшим обезвоживанием кристаллогидрата $\text{LaBr}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ в вакууме синтезированы образцы LaBr_3 . Проведена их идентификация методами химического и рентгенофазового анализов. Методом количественного ДТА для LaBr_3 определены температура и энтальпия плавления: $T_m(\text{LaBr}_3) = 1066,9 \pm 1,7\text{K}$ ($P=0,95$; $f=14$); $\Delta_m H^\circ(\text{LaBr}_3) = 34,8 \pm 2,0$ ($P=0,95$; $f=22$); кДж/моль; а затем рассчитана энтропия плавления: $\Delta_m S^\circ(\text{LaBr}_3) = 32,6 \pm 1,5$ Дж/моль·К.

Samples of LaBr_3 were synthesized by interaction of Lanthanum oxide (III) with hydrogen bromide acid and by further dehydration of crystalline hydrate $\text{LaBr}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ in vacuum, and identified by chemical and X-ray diffraction analyses. The melting point [$T_m(\text{LaBr}_3) = 1066,9 \pm 1,7\text{K}$ ($P=0,95$; $f=14$)] and the enthalpy of melting [$\Delta_m H^\circ(\text{LaBr}_3) = 34,8 \pm 2,0$ kJ/mol ($P=0,95$; $f=22$)] are determined by DTA; the entropy of melting is calculated: $\Delta_m S^\circ(\text{LaBr}_3) = 32,6 \pm 1,5$ J/mol·K.

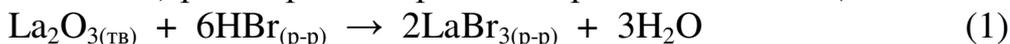
Значительная часть технологий с участием соединений РЗЭ включает высокотемпературные химические процессы. В теоретическом отношении интерес к систематическому экспериментальному определению свойств соединений лантанидов обусловлен возможностью выявления новых особенностей и уточнения общих закономерностей в лантанидном ряду. Поэтому определение и уточнение термических свойств галогенидов лантанидов по единой методике является актуальным. Настоящая работа посвящена определению констант плавления LaBr_3 методом количественного ДТА.

Литературные данные по температуре плавления LaBr_3 , полученные в разные годы, отличаются соответствием: 1062К [1], 1061К [2], 1058К [3]. Энтальпия плавления дважды определялась калориметрическим методом, результаты измерений: 54,4 кДж/моль [2] и 51,2 кДж/моль [3]. Точность определения энтальпии плавления в [2] оценена авторами справочника [4] в $\pm 0,84$ кДж/моль. Как видим, расхождение в результатах нахождения энтальпии плавления в [2] и [3] выходит за рамки этого доверительного интервала.

Экспериментальная часть

Синтез. Основная проблема при определении физико-химических свойств LaBr_3 связана с трудностью приготовления безводных солей и предотвращением их взаимодействия с атмосферой и материалом контейнера в ходе синтеза и экспериментов.

Безводный LaBr_3 синтезировали в две стадии. На первой стадии получали кристаллогидрат $\text{LaBr}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Для этого оксид лантана марки ЛаО – ССТ (ТУ №48-4-184-72) растворяли в бромоводородной кислоте (чда; ГОСТ 2062-77):



Вещество растворилось с образованием прозрачного коричневого раствора. Из раствора медленно, на водяной бане, в течение трёх суток выпаривали воду. В результате получили твёрдый порошок белого цвета, который переносили для хранения в сухой бокс.

На второй стадии из $\text{LaBr}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ получали безводный возогнанный LaBr_3 . Для этого 10 – 15г кристаллогидрата помещали в кварцевый реактор специальной формы, который имел на выходе секцию для накопления возогнанного вещества. Реактор помещали в печь и соединяли с вакуумной системой. В течение первых суток при непрерывной откачке (давление $5 \cdot 10^{-1}$ Па) температуру повышали до 460К, в течение вторых – до 600К. На третьи сутки в течение 8ч температуру повышали до 1220 – 1280К и выдерживали в течение 3ч. Затем печь выключали, реактор охлаждали вместе с печью, отпаивали и переносили в сухой бокс.

В боксе реактор разбивали в определённом месте и направлении, вещество возгона (спёкшийся белый порошок, частично затвердевший после подплавления, образовавшийся в накопителе в результате конденсации пара) отделяли от стенок реактора, измельчали в ступке и помещали в пирексовые ампулы, которые вакуумировали для хранения. Новизна способа, по сравнению с [5] состоит в том, что стадия контролируемой дегидратации кристаллогидрата $\text{LaBr}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ в вакууме дополняется стадией возгонки вещества в вакууме, причём обе стадии осуществляются в одном и том же реакторе и после возгонки вещество не контактирует с атмосферой воздуха.

По описанной методике получали одну порцию кристаллогидрата, а из неё три порции (партии) безводной соли LaBr_3 .

Химический анализ. В химическом методе анализа для определения содержания бромид-ионов использовали осадочный гравиметрический анализ (весовая форма AgBr), а для определения лантана – прямое комплексометрическое титрование раствором трилона Б с визуальной индикацией точки стехиометричности. Проанализировали вещество второго синтеза (проба 1,1173г на 0,5л)..

В полученном веществе:

	La	Br
Найдено, %:	36,60±0,20	63,20±0,09
Для LaBr_3 вычислено, %	36,69	63,31
Суммарное содержание элементов:	99,80±0,25% (P=0,95;f=3).	

Рентгенофазовый анализ. Для РФА вещество запрессовывали в специальную кварцевую кювету, клеивали тонкой влагонепроницаемой плёнкой и передавали в рентгеновскую лабораторию, где немедленно проводилась съёмка дифрактограммы на дифрактометре ДРОН – 2.0. Параметры съёмки: $\text{FeK}\alpha$ – излучение, скорость вращения счётчика – 2 град/мин⁻¹, скорость перемещения диаграммной ленты – 720 мм/час. В измеренные значения d вводили поправку по методу внутреннего стандарта (растёртый в порошок монокристалл $\alpha\text{-SiO}_2$). Найденные нами дифракционные характеристики LaBr_3 по дифрактограмме лучшего качества (28 линий) приведены в таблице 1. Из данных таблицы можно сделать вывод о монофазности исследуемого нами вещества и о совпадении с дифракционными данными LaBr_3 в картотеке [6] (гексагональная кристаллическая решётка, типа UCl_3).

Таблица 1 – Дифракционные характеристики образца LaBr_3

$d, \text{Å}$	I/I_1	hkl	$d, \text{Å}$	I/I_1	hkl
6,89	85	100	1,705	3	212
3,98	3	110	1,609	4	302
3,45	28	200	1,581	4	320
2,98	15	110	1,504	5	410
2,74	17	201	1,492	7	321
2,61	26	210	1,458	<1	312
2,30	100	300	1,407	1	113
2,26	15	211	1,378	7	203
2,14	2	102	1,318	2	501
1,990	2	220	1,302	3	213
1,912	6	310	1,295	2	322
1,887	1	202	1,251	3	412
1,760	2	311	1,238	2	510
1,726	12	400	1,194	4	511

Индексирование линий проводили для гексагональной сингонии. Структурный тип устанавливали по сходству дифракционной картины, параметров элементарной ячейки и их соотношения с представителями, описанными в литературе. По нашим данным LaBr_3 имеет гексагональную кристаллическую решетку с параметрами: $a = 7,959 \pm 0,003 \text{Å}$; $c = 4,511 \pm 0,002 \text{Å}$; координационное число $Z = 2$; рентгеновская плотность $D_x = 5,08 \text{г/см}^3$; пространственная группа S.G. $\text{P6}_2/\text{M}$ (176); структурный тип – UCl_3 .

ДТА. ДТА-кривые образцов бромида лантана записывали на дериватографе системы Паулик, Паулик, Эрдей со скоростью нагревания и охлаждения 10 К/мин при чувствительности ДТА 1/5.

На спаи термопар устанавливали цилиндрические вакуумированные кварцевые сосуды (ампулы) с веществом LaBr_3 (образец) и Al_2O_3 (эталон). Ампула предохраняет вещество LaBr_3 от воздействия окружающей среды, а

одинаковые ампулы для образца и эталона призваны обеспечивать одинаковые условия нагревания для термопар во время опыта.

При проведении ДТА-измерений и ограничении площадей пиков на ДТА-кривых учитывали рекомендации Комиссии по стандартизации Международной конференции по термическому анализу (ИСТА) [7]. Площади пиков измеряли с помощью программы Auto CAD 2006. Относительная ошибка при измерении площадей пиков составляла не более 0,15%.

Для определения термических констант плавления LaBr_3 записывали 15 ДТА-кривых (рисунок 2), используя в образцах вещества всех трёх параллельных синтезов (партий).

Энтальпию превращения рассчитывали по уравнению:

$$\Delta_m H^\circ = \frac{S}{s \cdot n}, \quad (1)$$

Где S – площадь пика ДТА, см^2 ; s – инструментальная постоянная, равная площади термического эффекта, соответствующего изменению энтальпии образца на 1 кДж при условиях опыта, $\text{см}^2/\text{кДж}$; n – количество испытуемого вещества, моль.

Способ калибровки прибора ДТА и градуировки термопары описан нами в работе [8]. Приведём только градуировочные уравнения:

$$T, \text{ K} = 431,2 + 41,86 h \quad (\text{в интервале } 1000\text{K} < T < 1200\text{K}), \quad (2)$$

где h – расстояние от нулевой линии до площадки, соответствующей превращению на ТА – кривой;

$$S_{\text{нагрев}} = -17,7 + 0,0408T_m + 5,04m, \quad (3)$$

$$S_{\text{охлажд}} = 9,19 + 0,0211T_m + 4,9m, \quad (4)$$

где $S_{\text{нагрев}}$ и $S_{\text{охлажд}}$ – инструментальная постоянная в уравнении (1) в зависимости от температуры плавления $T_m, \text{ K}$ и массы образца $m, \text{ г}$ соответственно для данных нагревания и охлаждения.

Результаты измерений приведены в таблице 2. Из таблицы 2 следует, что LaBr_3 склонен к переохлаждению, поэтому температуру плавления определяли только обработкой результатов нагревания. По причине переохлаждения, не на всех ДТА-кривых удалось зафиксировать точку окончания пика кристаллизации (она не проявилась на фотобумаге), поэтому не могла быть найдена и энтальпия превращения (прочерки в таблице 2). Однако для тех ДТА-кривых, где это удалось сделать, энтальпии плавления, полученные при нагревании и охлаждении образцов, составляют одну область рассеяния. Их статистически обработали совместно.

Таблица 2 – Результаты ДТА-измерений образцов LaBr_3

№* ДТА- кривой	Масса образца m, г	Нагревание				Охлаждение			
		h, см	T_m , К	s , $\text{см}^2/$ кДж	$\Delta_m H^\circ$, кДж/ моль	h, см	T_m , К	s , $\text{см}^2/$ кДж	$\Delta_m H^\circ$ кДж/ моль
1-1-1	1,9558	15,15	1065,3	35,62	43,57	13,85	1011,0	-	-
1-1-2	1,9558	15,20	1067,5	35,71	37,62	13,35	990,0	-	-
1-1-3	1,9558	15,10	1063,3	35,54	37,31	13,60	1000,5	-	-
1-2-1	2,3754	15,10	1063,3	37,65	30,82	13,40	992,1	-	-
1-2-2	2,3754	15,05	1061,2	37,57	29,05	14,60	1042,4	42,82	32,87
1-2-3	2,3754	15,20	1067,5	37,82	30,98	14,60	1042,4	42,82	33,35
2-1-1	1,4030	15,25	1069,6	33,01	36,71	15,00	1059,1	38,41	36,82
2-1-2	1,4030	15,15	1065,3	32,83	28,69	14,95	1057,0	38,36	36,44
2-1-3	1,4030	15,10	1063,3	32,75	36,17	15,50	1080,0	38,85	35,15
3-1-1	1,7350	15,40	1075,8	34,93	45,04	13,15	981,7	-	-
3-1-2	1,7350	15,25	1069,6	34,68	35,30	13,25	985,8	-	-
3-1-3	1,7350	15,15	1065,3	34,50	34,28	14,00	1017,2	-	-
3-2-1	1,9842	15,15	1065,3	35,76	37,62	14,40	1034,0	40,73	35,42
3-2-2	1,9842	15,25	1069,6	35,94	32,17	14,90	1054,9	41,17	32,35
3-2-3	1,9842	15,30	1071,6	36,02	32,68	14,85	1052,8	41,12	32,76
средние значения:			1066,9		35,26				34,40

* Первая цифра в номере ДТА-кривой обозначает номер партии, вторая – номер образца, а третья – какой по счёту раз нагревается данный образец.

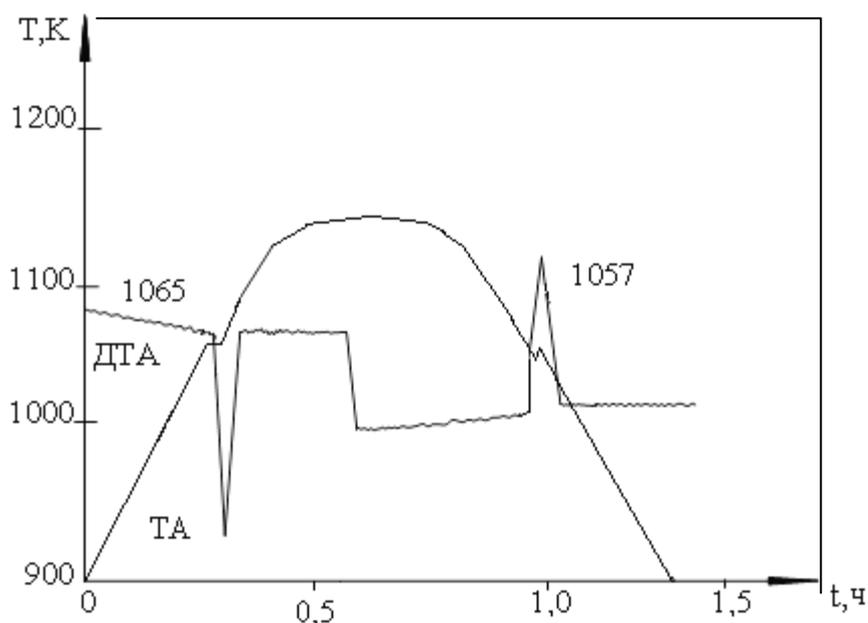


Рисунок 2 – Типичная ДТА – кривая образца LaBr_3

По нашим данным LaBr_3 плавится при $1066,9 \pm 1,7\text{K}$ ($P=0,95; f=14$), что несколько выше литературных. Энтальпия плавления равна: $\Delta_m H^\circ(\text{LaBr}_3) = 34,8 \pm 2,0$ ($P=0,95; f=22$); кДж/моль, что не совпадает с литературными данными. По энтальпии и температуре плавления рассчитывали энтропию плавления: $\Delta_m S^\circ(\text{LaBr}_3) = 32,6 \pm 1,5$ Дж/моль·К.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Spedding F.H., Daane A.H. The Rare-Earth Metals// Metallurgical Reviews, 1960. V.5, No. 19. – P. 297-341.
2. Dworkin A.S., Bredig M.A.// High Temp. Sci. – 1971. V.3. No 1. – P. 81-90.
3. L. Ryceerz, M. Gaune-Escard// J. Thermal Anal. Calorimet. – 1999. V.56. – P.355.
4. Термические константы веществ: Справ. Вып.8/ Под ред. В.П. Глушко, В.А. Медведева и др. М.: Наука, 1978. 525с.
5. Браун Д. Галогениды лантаноидов и актиноидов/Д. Браун. – М.: Атомиздат, 1972. – 272с.
6. Powder Diffraction File. Search Manual Alphabetical Listing. Inorganic, 1973. Publication SMA – 23. Published by the JOINT Committee on Powder Diffraction STANDARDS 1601 Park Lane, Swarthmore, Pennsylvania 19081 U.S.A.
7. Шестак Я. Теория термического анализа. М.: Мир, 1987. – С.318.
8. Горюшкин В.Ф., Пошевнева А.И., Винокурова Н.Г. Термические константы плавления иодида гольмия // Журн. неорганической химии, 1996. Т.41. №9. – С. 1534-1536.

УДК 669.041

И.В. Строкина, Н.Ф. Якушевич

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

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДИССОЦИАЦИИ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА ДО ШПИНЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ Fe-C-O₂-H₂

Выполнен расчет и построение диаграммы фазово-химических равновесий в сложной системе Fe-C-O₂-H₂.

The calculation and building up the diagram of phase-chemical balances in the complex system Fe-O₂-C-H₂ had been performed.

Процесс термической диссоциации оксидов лежит в основе получения металлов. Академиком А.А. Байковым была сформулирована теория термической диссоциации химических соединений, исходя из которой, восстановление оксидов железа осуществляется последовательно - от высшего оксида к низшему и металлу, по схеме: Fe₂O₃ – Fe₃O₄–FeO–Fe.

Закономерности диссоциации или образования соединений вскрывают строгую последовательность изменения термодинамических характеристик прочности различных оксидов одного и того же металла.

Реакции восстановления оксидов железа углеродом в системе Fe-O-C, а также водородом в системе Fe-O-H аналогичны и подчиняются общему закону последовательности превращений в порядке изменения термодинамических свойств оксидов. Особенностью диссоциации оксидов железа является то, что при температурах ниже 570 °С фаза вюстита метастабильна, а при высоких температурах, особенно в жидком состоянии, становится наиболее стабильным оксидом [1, 2].

Протекание реакций восстановления в системе Fe-C-O₂-H₂ в прямом или обратном направлениях зависит от таких термодинамических параметров как температура, давление, состав газовой фазы. Расчет фазово-химических равновесий в системе Fe-C-O₂-H₂ и обоснование оптимальных параметров восстановления оксидов железа изложены ранее в работах [3, 4].

Помимо определения режимов восстановления непосредственно до железа металлического, важно обозначить параметры взаимного перехода оксидов железа и выявить термодинамические условия для получения класса сложных оксидов - шпинелей.

Чистые шпинели в природе встречаются крайне редко, обычно они содержат различные примеси. В технике пользуются синтетическими шпинелями, которые получают сплавлением или спеканием соответствующих оксидов при 1400-1920 °С. Шпинели применяют для изготовления диэлектриков, элементов запоминающих устройств ЭВМ, используют в качестве катализаторов химико-технологических процессов (например, в синтезе этиленоксида), в производствах пигментов, керамики, огнеупоров, термостойких красок. Благородные природные шпинели являются драгоценными камнями [5].

При синтезе железистых шпинелей (феррошпинелей), имеющих очень важное значение в технике, необходимо поддерживать соответствующую газовую среду.

Равновесные составы газовых сред двух технологических вариантов получения железистых шпинелей обозначены на диаграммах фазово-химических равновесий в системе Fe-C-O₂-H₂. На рисунке 1 изображена равновесная поверхность перехода Fe₃O₄ в FeO в зависимости от температуры при соответствующей газовой фазе, состав которой отражается на концентрационном треугольнике, на рисунке 2 показана равновесная поверхность перехода Fe₂O₃ в Fe₃O₄.

Равновесие в системе Fe-C-O₂-H₂ определяется реакцией газификации углерода и реакцией водяного газа:



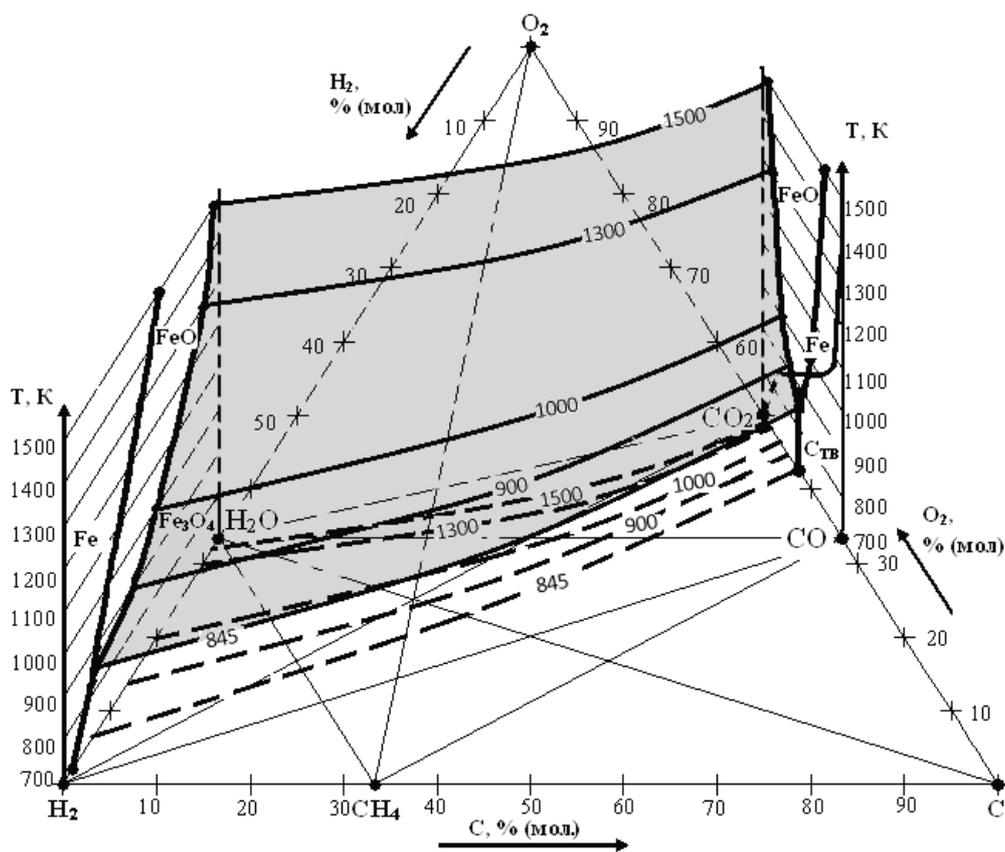


Рисунок 1 – Равновесная поверхность $\text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{FeO}$ и проекции ее изотерм – на диаграмме фазово-химических равновесий в системе $\text{Fe}-\text{C}-\text{O}_2-\text{H}_2$

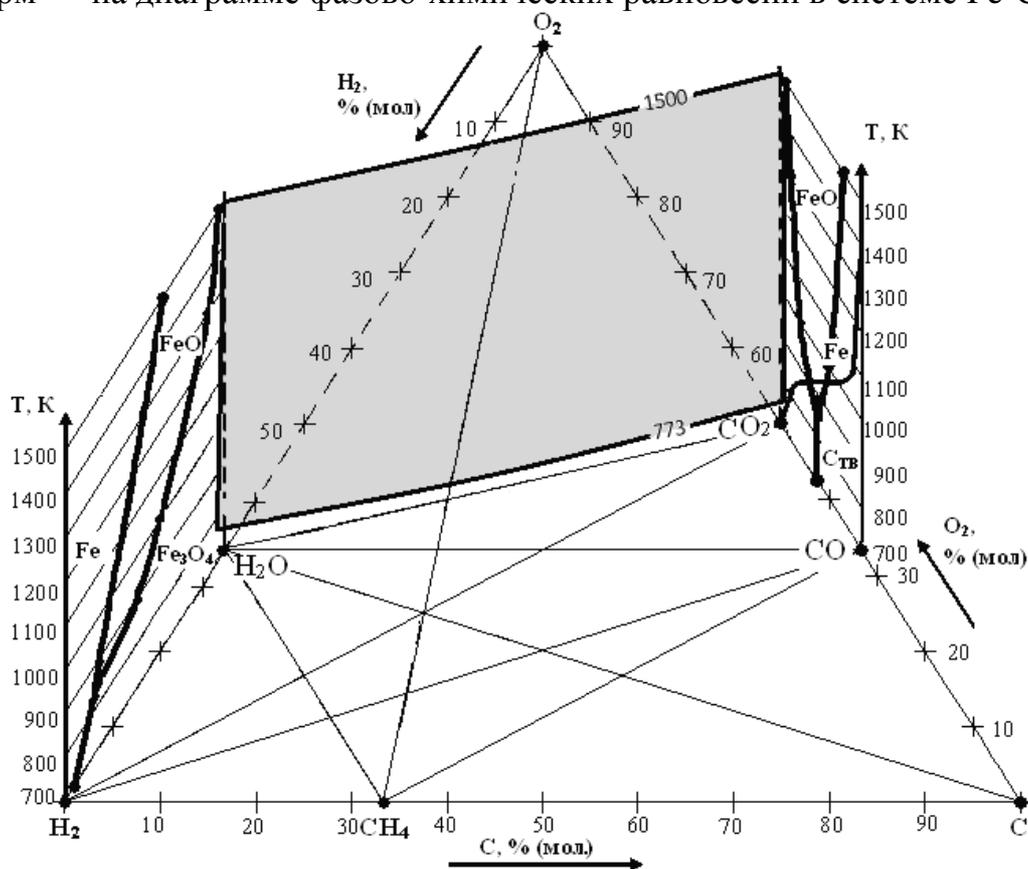
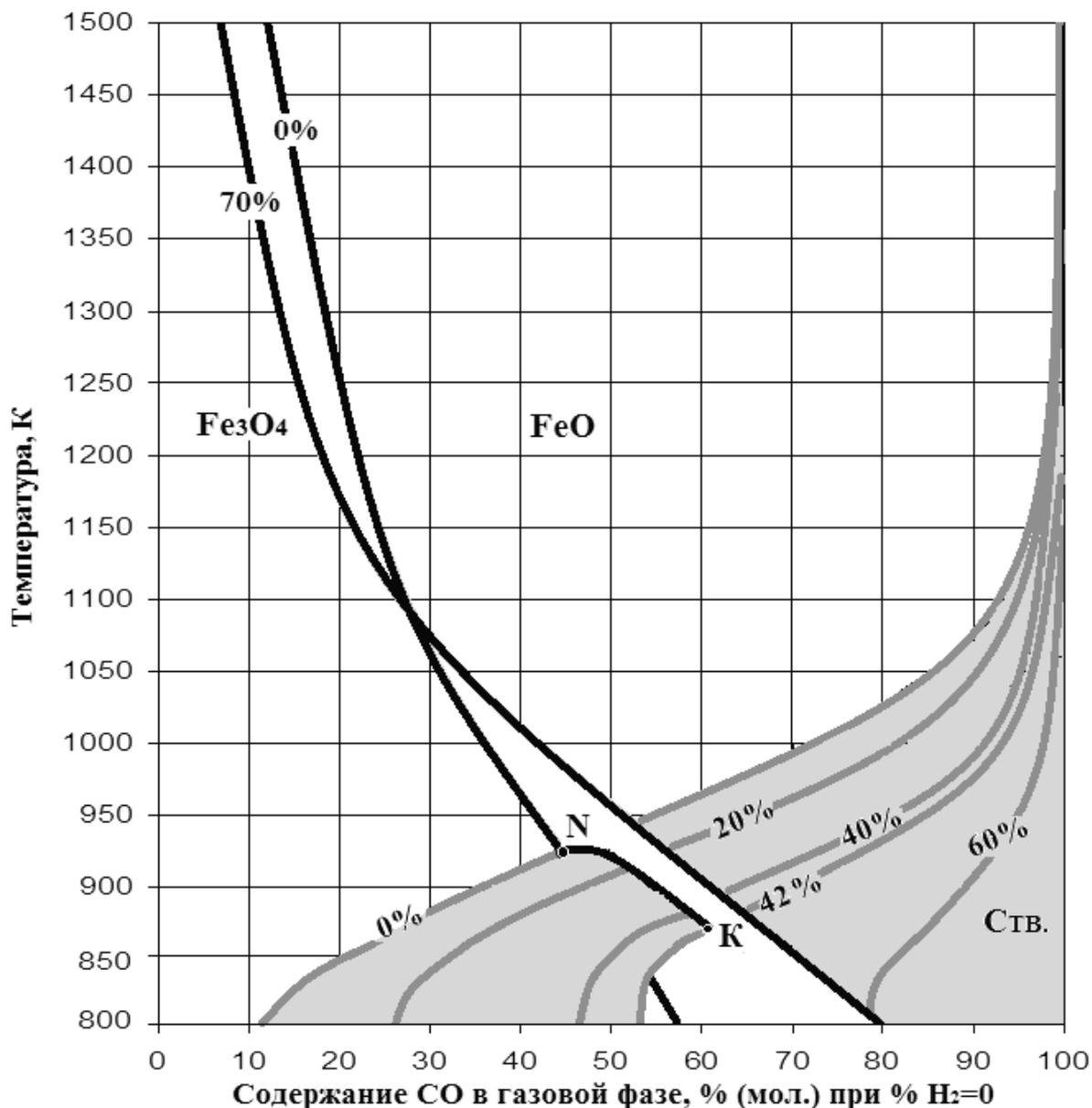


Рисунок 2 – Равновесная поверхность $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_3\text{O}_4$ на диаграмме фазово-химических равновесий в системе $\text{Fe}-\text{C}-\text{O}_2-\text{H}_2$

На рисунке 3 изображено взаимное равновесное расположение поверхности $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-FeO}$ и поверхности углеродоотложения в рамках диаграммы равновесия твердого углерода с газовой фазой состоящей из CO и CO_2 при добавлении 10, 20, 30, 40, 50 и 60 % водорода в систему.



0%, 20%, ... 60% - содержание H_2 в системе $\text{Fe-O}_2\text{-C-H}_2$

Рисунок 3 – Влияние температуры и состава газовой фазы на соотношение поверхности, отвечающей равновесному существованию оксидов железа Fe_3O_4 и FeO с поверхностью углеродоотложения

Поверхность $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-FeO}$ частично пересекает поверхность газификации углерода по кривой, координаты точек которой описаны в таблице 1.

Таблица 1 – Координаты точек кривой К-Н пересечения равновесной поверхности Fe_3O_4-FeO и поверхности углеродоотложения

Содержание CO в г.ф., % (мол.) при % $H_2=0$ (абсцисса точки)	Температура, К (ордината точки)	Мольные проценты H_2 в газовой фазе, % (мол.)	Отношение $\frac{CO}{CO_2}$	Значение $lg pO_2$
44,13 (т. N)	926	0	0,79	-24,1
45,36	926	10	0,83	-24,1
47,92	926	20	0,92	-24,0
50,00	923	30	1,00	-23,9
59,02	878	40	1,44	-23,0
60,50 (т. K)	873	42	1,53	-22,9

Пересечение поверхностей происходит в интервале 0-42 % H_2 . Каждая точка кривой пересечения поверхности газификации углерода и поверхности Fe_3O_4-FeO показывает равновесный состав газовой фазы и температуру начала восстановления Fe_3O_4 до FeO в системе $Fe-O_2-C-H_2$.

При добавлении H_2 в газовую фазу наблюдается увеличение отношения CO/CO_2 в равновесном состоянии системы $Fe-O_2-C-H_2$ и уменьшение температуры начала восстановительного процесса.

Поверхность $Fe_3O_4-Fe_2O_3$ не пересекается с поверхностью углеродоотложения. Прочность высшего оксида Fe_2O_3 столь низка вследствие сугубо окислительной атмосферы, что в равновесной газовой фазе содержатся незначительные количества CO. Процесс перехода Fe_2O_3 в Fe_3O_4 при нагревании необратим из-за высокого кислородного потенциала продуктов диссоциации.

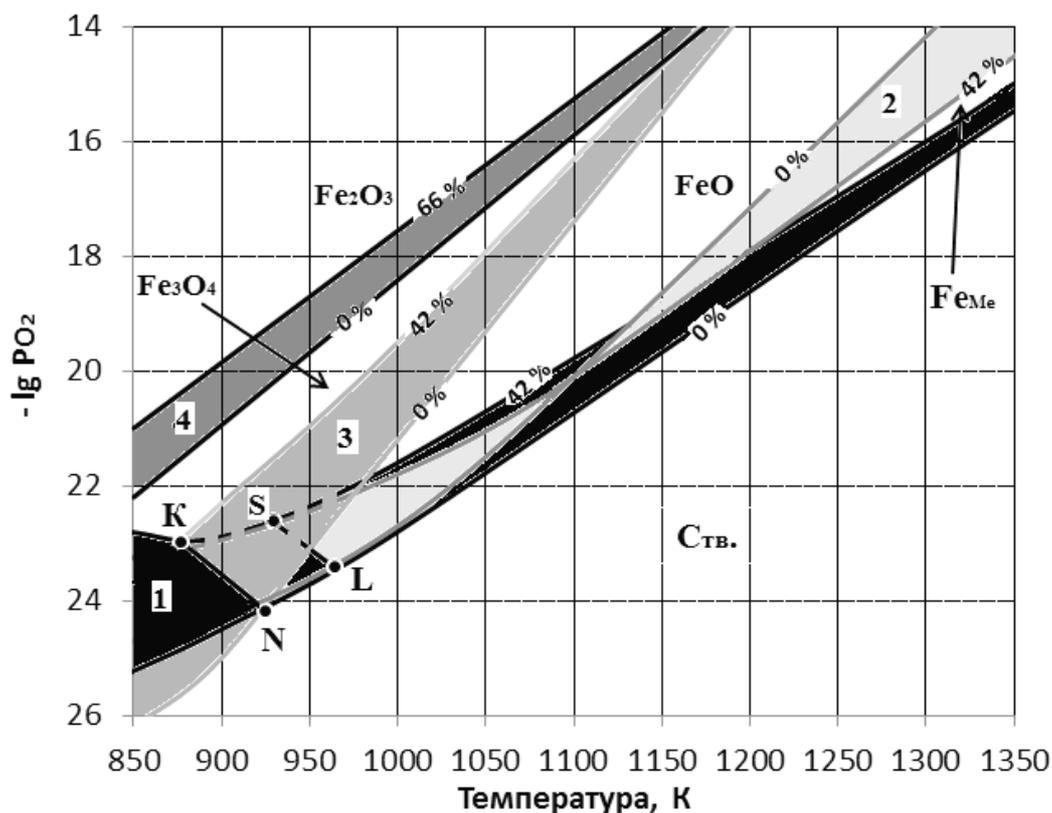
При помощи величины кислородного потенциала можно охарактеризовать количественно состав и окислительно-восстановительные свойства газовой фазы системы $Fe-O_2-C-H_2$.

На рисунке 4 представлены области существования равновесных поверхностей $FeO-Fe_{Me}$ (2), Fe_3O_4-FeO (3), $Fe_2O_3-Fe_3O_4$ (4), и поверхности углеродоотложения (1) как функции кислородного потенциала и температуры.

Кривая S-L пересечения поверхностей 1 и 2 соответствует термодинамическим параметрам начала твердофазного восстановления вюстита до железа металлического: 930–965 К и $lg pO_2$ (-23,3÷-22,6)

Параметры начала восстановления магнетита в вюстит отслеживаются по кривой К-Н пересечения поверхностей 1 и 3: 878–926 К при $lg pO_2$ (-24,1÷-22,7).

При получении Fe_3O_4 составы газовых смесей по кислородным потенциалам при рабочих температурах должны располагаться в области существования магнетита, т.е. между равновесными поверхностями перехода магнетита в вюстит 3 и перехода гематита в магнетит 4.



- 1 – поверхность углеродоотложения, 2 – поверхность перехода FeO в Fe_{Me},
 3 – равновесная поверхность FeO-Fe₃O₄, 4 - поверхность Fe₃O₄-Fe₂O₃
 0%, 42%, ... 66% - содержание H₂ в системе Fe-O₂-C-H₂

Рисунок 4 – Фазово-химические равновесия в системе Fe-O₂-C-H₂ в зависимости от температуры и кислородного потенциала газовой фазы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филиппов С.И. Теория металлургических процессов / С.И. Филиппов - М. : Металлургия, 1967. - 280 с.
2. Куликов И.С., Ростовцев С.Т., Григорьев Э.Н. Физико-химические основы процессов восстановления окислов / И.С. Куликов – М.: Наука, 1978. – 136 с.
3. Якушевич Н.Ф., Чужинова И.В. Определение оптимальных режимов восстановления железорудных концентратов комбинированными восстановителями (Ств.+H₂) // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сб. научн. тр. Вып. 20: Редкол.: Г.В. Галевский (главн. ред.) [и др.] : СибГИУ. – Новокузнецк, 2007. – С. 25-36.
4. Якушевич Н.Ф., Елкин К.С., Чужинова И.В. Выбор оптимального режима твердофазного восстановления Бакчарских железорудных концентратов полукоксом // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сб. научн. тр. Вып. 21: Редкол.: Г.В. Галевский (главн. ред.) [и др.]: СибГИУ. – Новокузнецк, 2008. – С. 27-33.
5. www.pandia.ru/399999/.

УДК 548.55: 669.015.5:539.23

А.Н. Порядина, А.М. Апасов

Юргинский технологический институт (филиал)

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Юрга

К ПРОБЛЕМЕ ПОЛУЧЕНИЯ ОСОБО ЧИСТЫХ МЕТАЛЛОВ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО УРОВНЯ

Обобщены достигнутые в последнее время основные экспериментальные результаты в области получения ряда металлов в особо чистом состоянии и исследования их свойств. Кратко изложены принципы основного метода рафинирования металлов (дистилляция) с применением вакуумной и сверхвысоковакуумной техники. Процессы дистилляции в вакууме позволяют конструировать особо чистые металлы нанокристаллического уровня путем регулируемой сборки из отдельных атомов и, следовательно, получать металлы с заранее заданными свойствами и структурой.

The basic experimental outcomes about the obtaining and research of properties of a metals in a high-purity state. The basic principles of physical methods of metals purification (distillation, melting and zone recrystallization) with application of a vacuum and superhigh-vacuum engineering are briefly explained. Processes of distillation in vacuum permit to construct a high-purity metals of nanocrystalline level by way of the regular assembling from individual atoms and get a metals with beforehand proposed properties and structures.

Введение

На текущий момент времени достигнут высокий уровень чистоты многих полупроводниковых материалов [1,2]. Так, суммарное содержание основных примесных элементов в лучших образцах германия, кремния не превышает $10^{11} \dots 10^{12}$ ат. / см^3 , в арсениде галлия – $10^{14} \dots 10^{15}$ ат. / см^3 . Несмотря на то, что для технологий глубокой очистки веществ характерны высокие науки и капиталоемкость (причем материальные затраты растут нелинейно с повышением степени очистки [3]), повышение чистоты материалов для микроэлектроники продолжает оставаться актуальным. Высокая степень чистоты материалов предопределяет рост экономической эффективности их использования: расширяются функциональные возможности, улучшаются эксплуатационные характеристики.

Научная проблема подобного уровня стоит и перед металлами: актуальность проводимых комплексных исследований в области особо чистых металлов несомненна [4–6]. Это объясняется тем, что:

-во-первых, высокочистые металлы – это «особое» фазовое состояние

вещества, находящегося в экстремальных условиях, при котором кардинально изменяется поведение известных свойств, и выявляются совершенно новые фундаментальные, ранее «скрытые» примесными элементами и соединениями, а также структурными дефектами различного уровня;

-во-вторых, особое качество может быть сформировано только при обязательном условии соблюдения высокой степени физической однородности (полное отсутствие дефектов различного структурного уровня), химической однородности (максимальный уровень диспергирования химических элементов и их соединений по всему объему при их минимальной концентрации или полном отсутствии) и структурной однородности металлов и сплавов. Это, в свою очередь, будет гарантировать реальным изделиям и конструкциям из данных металлов такие механические, физические, химические и другие свойства, информативные параметры которых будут максимально приближены к их теоретическим значениям;

-в-третьих, начавшееся восстановление авиакосмической, оборонной промышленности, специального машиностроения, черной и цветной металлургии, а также решение назревших проблем в микроэлектронике, атомной энергетике, вирусологии, генетике, биомедицине ставит актуальную задачу возрождения внимания к теории и практике разработки новых прецизионных технологий получения сверхчистых металлов, которые являются основой для синтеза новых материалов с заданными свойствами.

Анализ методов очистки металлов

Следует отметить, что традиционные рафинировочные электротехнологические процессы, осуществляемые в вакуумных дуговых, электронно-лучевых, вакуумных индукционных и плазменных электропечах, предназначены для переплавов металлов и сплавов с удалением из расплава через паровую фазу до 0,01...1,0 % исходной массы материала. Однако традиционные рафинировочные процессы являются частными случаями более общих дистилляционных процессов, когда в паровое состояние переводится от 1 до 90 % исходной массы расплавленных металлов [6].

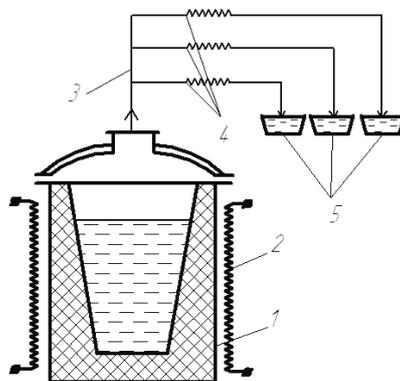
Физико-химические основы дистилляционных методов основаны на разделении металлов при испарении (конденсации) за счет различия в давлениях насыщенных паров. Это различие определяется величиной относительно летучести β отделяемого компонента (применительно к процессу рафинирования эту величину называют коэффициентом разделения). В равновесных условиях

$$\beta_e = \frac{N'_A/N_A}{N'_B/N_B} = \frac{N'_A/N'_B}{N_A/N_B}, \quad (1)$$

где N_A и N'_A – мольные доли компонента A в жидкости и в паре соответственно, N_B и N'_B – то же для компонента B . Чем дальше отстоит значение β_e от единицы, тем эффективнее разделение компонентов.

Наиболее распространенная дистилляционная система периодического действия показана на рисунке 1. В плавильном тигле исходное сырье нагревается до рабочей температуры, при которой с поверхности расплава испаряются легколетучие компоненты.

Фракционная дистилляция предполагает отвод в разное время паров различных составов в несколько сборников (рисунок 1).



- 1 – тигель с расплавом; 2 – нагреватель; 3 – паропровод; 4 – конденсаторы;
5 – сборники конденсата

Рисунок 1 – Схема фракционной дистилляции

В первый конденсатор поступает первая по времени порция дистиллята, наиболее богатая низкокипящими компонентами, во второй конденсатор – менее богатый дистиллят и т.д. Конструкция электропечей имеет несколько конденсаторов и позволяет менять их в процессе работы. В каждом из полученных дистиллятов преобладает содержание одного или нескольких компонентов исходного расплава.

Наиболее часто в печах периодического действия конденсирующиеся пары металлов переходят в *твердое* состояние поэтапно через три стадии: нанокластеры, наноструктуры, нанокристаллическое состояние с образованием в итоге сверхчистых металлов.

Методы получения нанокластеров

В основу классификации нанокластеров и наноструктур целесообразно положить способы их получения. Это определяет также разграничения на изолированные наноструктуры и нанокластеры, объединенные в наноструктуру со слабыми или сильными межкластерными взаимодействиями или взаимодействием кластера с матрицей [7].

Тепловой поток паров металла, поступающий на охлаждаемую поверхность конденсатора в печах периодического действия, как правило, изменяется во времени.

Эта техническая особенность системы конденсации паров связана с еще одним требованием: конденсаторы с переводом пара в твердое состояние должны обеспечивать утилизацию продукта за весь технологический цикл и, следовательно, не допускать роста температуры поверхности конденсации

выше температуры плавления конденсата к концу плавки, когда образуется большой слой конденсата.

Скорость конденсации в твердое состояние и структура получаемого твердого конденсата в наибольшей степени зависят от соотношения температуры конденсации T_k и температуры плавления осаждаемого вещества $T_{пл}$.

При $T_k < T_{пл}$ конденсаты формируются как неравновесные системы, состоящие из беспорядочно ориентированных сверхмелких зерен размером ≤ 10 нм с рассеянной микропористостью. При температуре поверхности конденсации в диапазоне $< 0,3T_{пл} < T_k < 0,5T_{пл}$ для конденсатов характерна столбчатая структура с кристаллографической ориентацией [8]. При высокотемпературной конденсации в твердую фазу, когда $T_k > 0,5T_{пл}$, формируется равновесная структура, подобная структуре рекристаллизованных металлов и сплавов.

Формирование наноструктур из атомов и молекул чистых металлов, адсорбированных на поверхности конденсаторов при дистилляции

Твердая поверхность конденсаторов представляет собой особый вид структуры, где проявляются не только особенности конденсированного состояния вещества, но также и газовой фазы. Ее свойства также определяют многие характеристики нанокластеров и наноструктур. Здесь исследуются различные свойства поверхности на микроскопическом уровне. Это атомная, электронная, магнитная структура, как в статическом плане, так и в динамическом по сравнению с характеристическими временами поверхности, измеряемые теми или иными методами [5].

Прежде всего необходимо остановиться на основных подходах, которые используются для описания структурных и электронных свойств атомов и молекул, входящих в состав поверхности или *адсорбированных* на ней. Речь идет о методе молекулярных орбиталей, позволяющем конструировать химические связи и образовывать из атомов молекулы, нанокластеры и наночастицы и тело правильной геометрической формы макроскопических размеров, находящегося в конденсированном состоянии.

Орбитали получают при решении уравнений квантовой механики типа $\hat{H}\varphi = E\varphi$, где \hat{H} – оператор Гамильтона, E – энергия орбиталей, φ – атомные или молекулярные орбитали. Поиск атомных орбиталей в одноэлектронном приближении осуществляют в виде

$$\varphi_{n,l,m}(r,\theta,\varphi) = R_{n,l}(r)Y_{l,m}(\theta,\varphi), \quad (2)$$

где r – расстояние электрона от ядра, θ и φ – углы сферической системы координат, $R_{n,l}(r)$ и $Y_{l,m}(\theta,\varphi)$ – радиальная и сферическая функции.

Поэтому при сближении атомов металлов, первыми перекрываются их внешние s-орбитали. Вначале перекрываются «хвосты» s-орбиталей, и энергия межатомной связи по мере сближения и повышения концентрации электронов между ядрами постепенно увеличивается. Сближение атомов происходит до совмещения (суперпозиции) максимумов электронной плотности Ψ s-орбиталей, что отвечает удвоению электронной плотности в зоне перекрытия.

Такая высокая концентрация электронов между ядрами соседних атомов стягивает эти атомы и представляет металлическую связь. Суперпозиции максимумов плотности *s*-оболочек отвечает наибольшая энергия связи между ближайшими соседями. Дальнейшего сближения атомов не происходит вследствие понижения энергии связи из-за уменьшения перекрытия *s*-оболочек, а также вследствие сильного возрастания отталкивания друг от друга основных электронных оболочек и взаимного отталкивания ядер.

Число, протяженность и симметрия орбиталей атомов данного конкретного элемента полностью определяют число, длину, ориентировку и энергию межатомных связей, образующихся в результате перекрывания этих орбиталей, а следовательно, размещение атомов в пространстве, т.е. кристаллическую структуру, а также основные физико-химические свойства элемента. Геометрия кристаллической решетки любого элемента является прежде всего следствием симметрии перекрывающихся электронных орбиталей его атомов [5, 9].

Молекулярные орбитали (МО) формируются из атомных орбиталей (АО) с помощью линейных комбинаций (ЛК) и, таким образом, составляется метод ЛКАО–МО, позволяющий с помощью тех или иных приближений и с учетом симметрии рассчитывать электронную плотность молекулы или нанокластера.

В качестве примера применения метода ЛКАО–МО проследим изменение МО для молекулы, включающей два фрагмента, и модельной молекулы с одним занятым уровнем при ее адсорбции на поверхность металла (рисунки 2, 3).

Для молекулы с двумя фрагментами и четырьмя электронами возникает связывающая МО (нижняя) и разрыхляющая орбиталь (верхняя), которая суммарно повышает энергию и обеспечивает отталкивание фрагментов. Однако в случае взаимодействия такой молекулы с поверхностью твердого тела разрыхляющая орбиталь может оказаться выше по энергии, чем уровень Ферми. Тогда электроны переходят с нее на уровень Ферми и заполненной остается только связывающая орбиталь, что и обеспечивает связь молекулы с поверхностью (рисунок 2). Для молекулы, приближающейся к поверхности, схемы энергетических уровней для нескольких расстояний молекула – поверхность показаны на рисунке 3. На больших расстояниях существует только отталкивание, которое растет при приближении молекулы к поверхности. Однако когда энергия разрыхляющей орбитали достигает уровня Ферми, электроны переходят на вакансии в зонах металла. В результате отталкивание сменяется *притяжением*.

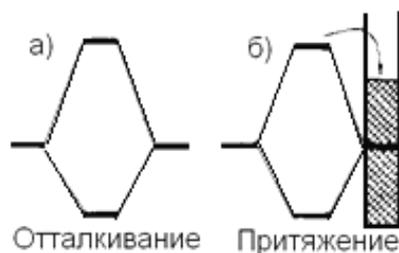


Рисунок 2 – Орбитали двухфрагментной молекулы при наличии отталкивания (а) и адсорбции на поверхности твердого тела (б). Средние орбитали соответствуют МО с заполнением четырех электронов

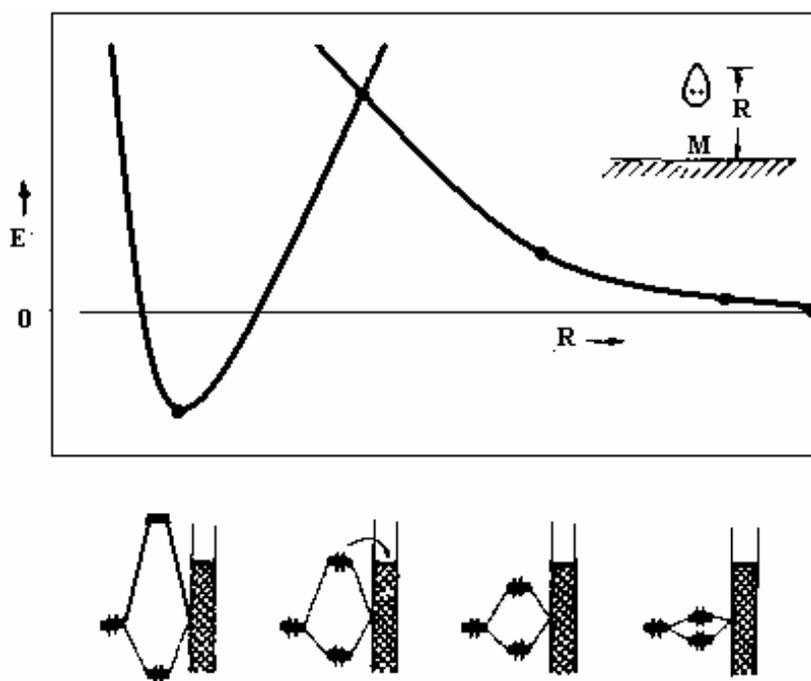


Рисунок 3– Изменение потенциальной энергии и расположения МО при изменении расстояния молекулы до поверхности

С учетом вышеизложенного при достижении поверхности конденсатора происходит понижение температуры паров чистых металлов, сближение их атомов и перекрытие их внешних s-орбиталей, образование межатомных связей и, следовательно, размещение атомов в пространстве, т.е. образование упорядоченной кристаллической структуры из чистых элементов или нанокластеров, из которых впоследствии формируются сверхчистые металлы в нанокристаллическом состоянии.

Синтез новых материалов на основе дистилляционных процессов

Процессы испарения и конденсации паровой фазы в вакууме позволяют конструировать сверхчистые металлы путем регулируемой сборки из отдельных атомов и, следовательно, при выполнении программы этой сборки синтезировать материалы с заранее заданными свойствами и структурой.

Электротечи, обеспечивающие проведение таких электротехнологий,

имеют много общего с дистилляционными установками для разделения и рафинирования металлов. Основные отличия новых электропечей состоят в том, что в рабочем пространстве необходимо обеспечивать не только получение чистых паров, но и их дозирование, смешение и управление конденсацией [8, 10].

Созданные вакуумные плазмотроны специальной конструкции для нагрева исходных материалов в виде порошков, в том числе ультрадисперсных [11, 12], индивидуально нагревают каждую такую отдельную частицу путем электронно-ионного взаимодействия с плазмой.

В работах Б.А. Мовчана [8, 9] выделены несколько наиболее перспективных направлений использования синтезированных сверхчистых металлов.

1. Осаждение металлических и керамических материалов на поверхности готовых изделий в виде покрытий толщиной 10...200 мкм с заданными физико-химическими свойствами. Например, жаростойких и теплозащитных покрытий на лопатки газовых турбин различного назначения [8].

2. Получение фольги, листа, труб и изделий более сложной формы из труднообрабатываемых материалов (например, бериллия).

3. Осаждение массивных заготовок (более 100 кг) известных высокопрочных материалов для последующей термомеханической обработки с целью получения полуфабрикатов и изделий с оптимальной структурой и высокими значениями физико-механических свойств (например, высокопрочных сплавов алюминия [8]).

Успешная реализация этих технологий определяется режимами работы специальных электропечей, позволяющих получать высокоскоростные потоки различных веществ.

Выводы

На основе анализов достигнутых в последнее время основных экспериментальных результатов в области получения ряда металлов в особо чистом состоянии и исследования их свойств установлено, что для получения особо чистых металлов нанокристаллического уровня необходимо:

1. Рафинируемый металл из расплавленного состояния полностью перевести в паровую фазу.

2. Последовательно и избирательно в зависимости от температуры кристаллизации конденсировать остатки компонентов вредных примесей, лигатур из паровой фазы с окончательным выделением рафинируемого металла на поверхности тарелей конденсатора.

3. На основе направленной кристаллизации сгруппировать из моноатомных слоев чистых элементов металлов упорядоченные кристаллические структуры уровня нанокластеров с последующим формированием сверхчистых металлов в нанокристаллическом состоянии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ажажа В.М. Комплексный подход к получению высокочистых материалов для микроэлектроники / В.М. Ажажа, Г.П. Ковтун, И.М. Неклюдов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2002. – № 6. – С. 3–6.
2. Девярых Г.Г. Разработка высокочистых материалов // Сучасне матеріалознавство ХХІ сторіччя сб. / ред. І. К. Походня [та ін]. – Київ: Наукова думка, 1998. – 658 с.
3. Нисельсон Л.А. Проблема чистоты материалов в электронике / Л.А. Нисельсон, Ч.В. Копецкий // Высокочистые вещества. – 1993. – № 2. – С. 20–30.
4. Ажажа В.М. Получение и металлофизика особо чистых металлов / В.М. Ажажа, Г.Ф. Тихинский, Г.П. Ковтун, // Металлофизика и новейшие технологии. – 2000, Т. 22. – № 2. – С. 21–35.
5. Апасов А.М. Нанокристаллическое состояние металлов и сплавов: учебное пособие / А.М. Апасов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 840 с.
6. Cherednichenko V.S. Distilling electric furnaces: monograph / V.S. Cherednichenko. – Novosibirsk: NSTU Publisher, 2009. – 369 pp. – («NSTU Monographs» series).
7. Суздалев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И.П. Суздалев. – М.: КомКнига, 2006. – 592 с. (Синергетика: от прошлого к будущему.)
8. Мовчан Б.А. Получение новых неорганических материалов путем конденсации паров фазы в вакууме // Вест. АН СССР. – 1985. – № 7. – С. 21–29.
9. Григорович В.К. Металлическая связь и структура металлов / В.К. Григорович. – М.: Наука, 1988. – 296 с.
10. Мовчан Б.А. Исследование структуры и свойств толстых вакуумных конденсатов никеля, титана, вольфрама, окиси алюминия и двуокиси циркония / Б.А. Мовчан, А.В. Демчишин // Физика металлов и металловедение. – 1969. – Вып. 28. – № 4. – С. 23–30.
11. Чередниченко В.С. Нагрев порошковых материалов в сильноточных вакуумных дугах / В.С. Чередниченко, Г.П. Еременко, С.А. Зырянов и др. // Сибирский физ.-техн. журнал. – 1991. – Вып. 6. – С. 99–105.
12. Чередниченко В.С. Вакуумные плазменные электропечи с полными катодами: учеб. пособие / В.С. Чередниченко, М.В. Чередниченко. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. – 138 с.

В.М. Павловец

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

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОКУСКОВАННОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ ЗА СЧЕТ РАСШИРЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ШИХТЫ К СПЕКАНИЮ

На основе морфологического анализа разработана обобщенная структура технологической схемы подготовки железорудной шихты к спеканию. Для дополнительных технологических операций целенаправленного действия сформулированы альтернативные варианты, позволяющие расширить функциональные возможности агрегатов. Экспериментальным путем доказана возможность улучшения металлургических свойств окатышей тепло-силовым напылением шихты на гарнисаж и комкуемые материалы.

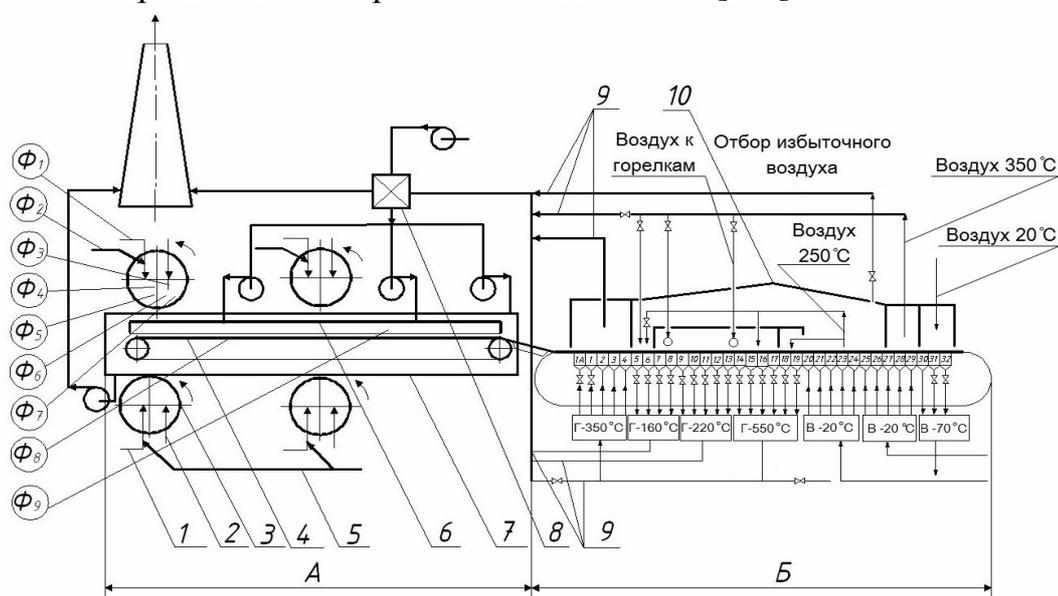
Based on morphological analysis developed bot generalized structure of the technological scheme of preparation of iron ore sintering charge to nij. For additional technical operations of purposeful action formulated alternatives that would increase the functionality of the units. By the experimental proof of the possibility of improving metallurgical properties of pellets coated teplos sexually-charge at the scull and komkue-mye materials.

Качество и себестоимость первичного металла в значительной степени определяются металлургической ценностью окускованного железорудного сырья и эффективностью его производства. Проблемы снижения энергозатрат и повышения качества сырья для производства передельного чугуна и металлизированного продукта, в том числе, выпускаемого на экспорт, решаются комплексным методом, включающим оптимизацию тепловых и физических процессов и расширение функциональных возможностей агрегатов на всем технологическом маршруте. Применяя перспективные методы теплосилового воздействия на комкуемую шихту и влажные сформованные материалы, можно снизить затраты на их тепловую обработку, увеличить производительность технологических агрегатов и сформировать оптимальную структуру, благоприятную для последующего обжига и восстановительно-тепловой обработки.

Общепринятая технологическая схема производства железорудных окатышей включает: подготовку влажной железорудной шихты к спеканию, направленную на формирование сырых окатышей, и упрочняющую термообра-

ботку, после которой получают прочные окисленные окатыши, пригодные для длительной транспортировки к потребителям и последующей плавки или металлзации. Основная термическая обработка окатышей с использованием 100 % технологического топлива (20-25 м³/т) и 80 % электроэнергии (5-10 кВт/т) осуществляется на обжиговых конвейерных машинах в режимах сушки, подогрева и обжига, а подготовка влажной железорудной шихты к спеканию, реализуемая в окомкователях и связанная с транспортированием сырых окатышей к обжиговой машине, свободна от внешнего теплосилового воздействия. При этом суммарная протяженность агрегатов, на которых возможно первичное теплосиловое воздействие на влажную шихту и сырые окатыши, соизмерима с длиной обжиговых машин.

На рисунке 1 приведена принципиальная схема производства окатышей, на отдельных стадиях которой методом морфологического анализа целенаправленного действия введены дополнительные альтернативные технологические операции целенаправленного действия [1-2].



1 – загрузочный транспортер; 2 – тракт увлажнения; 3 – тарельчатый окомкователь; 4 – транспортер кондиционных окатышей; 5 – тракт подачи сжатого воздуха; 6 – дутьевой короб; 7 – теплоизолирующий горн; 8 – теплообменник; 9 – дымовые каналы; 10 – горн обжиговой машины

Рисунок 1– Принципиальная технологическая схема производства железорудных окатышей на стадиях подготовки шихты к спеканию (А) и термической обработки окатышей (Б) (смесительное отделение не показано):

Φ1 ... Φ9 – технологические операции (наименование приведено в тексте);

Основные и дополнительные (ОД) технологические операции условно составляют первый уровень (первый столбец МТ) обобщенной структуры (уровень ОД-операций, $i = 1,9$) технологической схемы (рисунок 2).

№	Основные и дополнительные технологические операции	Альтернативные частные операции	Обобщенная структура технологической схемы (первый и второй уровень)
Φ ₁	Загрузка потока шихты в окомкователь	1 – свободнопадающей струей; 2 – тоже в герметичном канале; 3 – воздушно-шихтовой струей	
Φ ₂	Ориентация загружаемого потока шихты в окомкователе	1 – свободным падением; 2 – воздушной струей; 3 – водовоздушной струей; 4 – с помощью канала	
Φ ₃	Увлажнение шихты в окомкователе	1 – разбрызгиванием воды или связующего раствора; 2 – без увлажнения; 3 – разбрызгиванием водо-шихтовой пульпы	
Φ ₄	Окомкование шихты в окомкователе	1 – окатыванием в тарели; 2 – окатыванием в барабане	
Φ ₅	Внешнее силовое воздействие на сырые материалы	1 – свободнопадающим потоком шихты; 2 – низкотемпературными струями воздуха; 3 – напылением шихты низкотемпературными воздушно-шихтовыми струями; 4 – массой шихтового пригруза; 5 – массой комкуемого слоя	
Φ ₆	Приращение массы окатышей	1 – зародышеобразованием; 2 – окомкованием шихты; 3 – напылением шихты воздушно-шихтовыми струями; 4 – доокомкованием методом переката	
Φ ₇	Термическое воздействие на сырые материалы	1 – без термического воздействия; 2 – низкотемпературными воздушно-шихтовыми струями; 3 – низкотемпературными струями воздуха	
Φ ₈	Транспортирование сырых окатышей	1 – перемещение транспортерной лентой	
Φ ₉	Термообработка слоя сырых окатышей на транспортной ленте	1 – без термообработки; 2 – низкотемпературными струями воздуха; 3 – тоже в теплоизолированном горне	

Рисунок 2 – Морфологическая таблица и обобщенная структура технологической схемы подготовки железорудной шихты к спеканию для первого и второго уровней

Дополнительные технологические операции Φ₅, Φ₆, Φ₇, Φ₉ являются резервными, поскольку реально работающие технологические схемы, относящиеся к прототипам, могут функционировать без них. При необходимости, исключив их из работы, можно вернуться к исходной технологии. Новые технологические операции Φ₅, Φ₆, Φ₇, названные по виду соответствующего технологического воздействия, в совокупности с технологическим инструментарием (технологические устройства, физические поля или матери-

альные объекты) осуществляют конкретное физическое воздействие на сырые материалы, обеспечивая тем самым решение сформулированной вспомогательной технологической задачи. Внешнее силовое воздействие на сырые материалы в рабочем пространстве окомкователя (технологическая операция Φ_5) предназначено для создания дополнительного силового поля, направленного на увеличение скорости упрочнения сырых окатышей.

Дополнительная операция – приращение массы окатышей (Φ_6) – решает задачу увеличения скорости прироста массы окатышей. Термическое воздействие на сырые материалы в окомкователе и термообработка слоя сырых окатышей на транспортной ленте (технологические операции Φ_7 и Φ_9) решают задачу по организации и обеспечению заданной скорости влагоудаления из окатышей на стадии сырого производства. Дополнительные операции введены в структуру технологической цепи благодаря наличию свободного рабочего пространства и площадей для размещения оборудования и облегченной интеграции с энергетическими коммуникациями.

Для основных и дополнительных технологических операций подобраны частные альтернативные технологические операции, составляющие второй уровень (второй столбец МТ) обобщенной структуры (уровень А – альтернативных операций, $j \in J_{\Phi_i}$) технологической схемы. Для частных технологических операций разработаны альтернативные технологические объекты (второй столбец таблиц рисунков 3-5), на которые направлены их физические воздействия, и сформированы структуры альтернативных технологических схем. Альтернативные технологические объекты составляют третий уровень структурной технологической схемы (уровень Т- объектов, $k \in K_{\Phi_{ij}}$) новой технологии. На рисунках 3-5 приведены технологические объекты для дополнительных операций Φ_5, Φ_6, Φ_7 и соответствующих им частных операций. Последовательность реализации технологических операций не исключает параллельного протекания некоторых частных операций и одновременной ориентации этих операций на несколько технологических объектов. Технологические объекты могут входить в структуру действующего агрегата (шихтовый гарнисаж, зародыши, мелкие окатыши) или дополнительно включены в производственный процесс (транспортная лента, вспомогательные экраны, вращающиеся валки и др.) В качестве источников информации для построения структурных схем Φ_5, Φ_6, Φ_7 использованы монографии в области подготовки сырья к плавке, научные статьи и изобретения в этой области знаний [2 - 12].

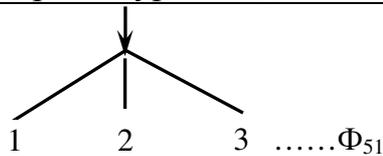
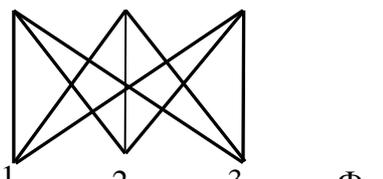
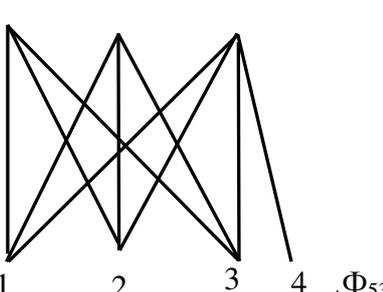
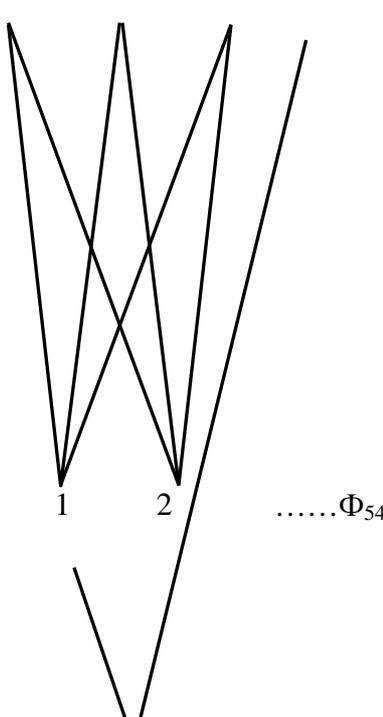
№	Альтернативные частные операции	Технологические объекты	Обобщенная структура (третий уровень)
Φ_{51}	Свободнопадающим потоком шихты	1 – на слой окатышей; 2 – на донный гарнисаж; 3 – на эластичную ленту, расположенную на слое окатышей	
Φ_{52}	Низкотемпературной струей воздуха	1 – на слой окатышей; 2 – на донный гарнисаж; 3 – на эластичную ленту, расположенную на слое окатышей	
Φ_{53}	Напылением шихты низкотемпературной воздушно-шихтовой струей	1 – на слой окатышей; 2 – на донный гарнисаж; 3 – на эластичную ленту, расположенную неподвижно на слое окатышей; 4 – на движущуюся эластичную ленту	
Φ_{54}	Массой шихтового пригруза	1 – на гладкую эластичную ленту, установленную неподвижно на слое окатышей; 2 – на ребристую эластичную ленту, установленную неподвижно на слое окатышей	
Φ_{55}	Массой комкуемого слоя	1 – на донный шихтовый гарнисаж	

Рисунок 3 – Морфологическая таблица альтернативных технологических объектов для третьего уровня обобщенной структуры технологической схемы подготовки шихты к спеканию на основе дополнительной технологической операции Φ_5 «Внешнее силовое воздействие на сырые материалы»

№	Частные операции	Технологические объекты	Обобщенная структура (к-уровень)
Φ_{61}	Зародышеобразование (З)	1 – окомкованием шихты перекатом; 2 – напылением шихты на донный гарнисаж; 3 – напылением на движущуюся эластичную ленту	
Φ_{62}	Окомкованием шихты (О)	1 – окомкованием шихты перекатом с получением кондиционных окатышей; 2 – окомкование шихты перекатом с получением мелких и крупных окатышей	
Φ_{63}	Напылением шихты воздушно-шихтовой струей (Н)	1 – на поверхность крупных окатышей с получением кондиционных окатышей; 2 – на поверхность мелких окатышей; 3 – на поверхность зародышей	
Φ_{64}	Доокомкованием (Д)	1 – мелких окатышей до кондиционных окатышей;	

Рисунок 4 – Морфологическая таблица альтернативных технологических объектов для третьего уровня обобщенной структуры технологической схемы подготовки шихты к спеканию на основе дополнительной технологической операции Φ_6 «Приращение массы окатышей»

№	Альтернативные частные операции	Технологические объекты	Обобщенная структура (третий уровень)
Φ ₇₁	Без термического воздействия	1 – без термического воздействия	
Φ ₇₂	Низкотемпературными воздушно-шихтовыми струями	1 – на зародыши; 2 – на мелкие окатыши; 3 – на донный гарнисаж	
Φ ₇₃	Низкотемпературными струями воздуха	1 – на мелкие окатыши; 2 – на донный гарнисаж; 3 – на кондиционные окатыши	

Рисунок 5 – Морфологическая таблица альтернативных технологических объектов для третьего уровня обобщенной структуры технологической схемы подготовки шихты к спеканию на основе дополнительной технологической операции Φ₇ «Термическое воздействие на сырые материалы»

В соответствии с разработанной систематизацией каждый s-ый C_s способ подготовки железорудной шихты к спеканию может быть отображен упорядоченным по функциональному признаку множеством технологических операций в виде следующей структурной формулы:

$$C_s = (\Phi_{ijk} \mid i=\overline{1,9}; j \in J_{\Phi_i}; k \in K_{\Phi_{ij}}), s=\overline{1,S} \quad (1)$$

где Φ_{ijk} – функционально упорядоченная совокупность технологических операций обобщенной структуры рассматриваемого способа подготовки железорудной шихты к спеканию; i – порядковый номер технологических операций, относящихся к множеству операций первого уровня (номер строки МТ); j – номер выбранной частной операции, относящейся к множеству альтернативных частных операций второго уровня обобщенной структуры технологической схемы; k – номер выбранного технологического объекта, относящегося к множеству объектов третьего уровня обобщенной структуры технологической схемы. S – общее количество вариантов, содержащихся в обобщенной технологической схеме подготовки железорудной шихты к спеканию.

Например, известный способ подготовки шихты (C_{пш}) к спеканию, на котором основана технология получения сырых железорудных окатышей по традиционной схеме способа - прототипа на базе основных, дополнительных и частных операций для первого и второго уровней структурной схемы, может быть представлен следующей структурной формулой:

$$C_{\text{шт}} = (\Phi_{11}, \Phi_{21}, \Phi_{31}, \Phi_{41}, \Phi_{51}, \Phi_{61}, \Phi_{71}, \Phi_{81}, \Phi_{91}); \quad (2)$$

На рисунке 2 его технологические связи выделены жирными линиями. Частные альтернативные операции структурных схем $\Phi_5, \Phi_6, \Phi_7, \Phi_9$ составляют основу для различных новых альтернативных технологических схем подготовки железорудной шихты к спеканию.

Разработанная обобщенная структура альтернативных технологических схем способов подготовки железорудной шихты к спеканию порождает множество решений, обеспечивает гибкость производственных процессов и расширяет спектр перспективных технологий производства. Например, для перспективного технического решения ($\tilde{C}_{\text{шт}}$), основанного на принудительном зародышеобразовании и низкотемпературной термической обработке, необходимых для получения сырых окатышей с пониженной влажностью на стадии сырого производства для первого и второго уровней обобщенной технологической схемы, структурная формула способа подготовки железорудной шихты к спеканию представлена совокупностью следующих технологических операций в виде:

$$\tilde{C}_{\text{шт}} = (\Phi_{13}, \Phi_{22}, \Phi_{32}, \Phi_{41}, \Phi_{53}, \Phi_{63}, \Phi_{72}, \Phi_{81}, \Phi_{92}). \quad (3)$$

В этом решении, в отличие от традиционного способа, загрузка потока шихты осуществляется воздушно-шихтовой струей (Φ_{11}) с ориентацией шихты воздушной струей на донный гарнисаж (Φ_{22}). Учитывая, что при окомковании шихты в тарельчатом окомкователе (Φ_{41}) подача материала возможна двумя потоками, то увлажнение одного из загружаемых потоков шихты можно исключить (Φ_{32}). Внешнее силовое воздействие на комкуемые материалы выполняется напылением шихты низкотемпературными воздушными струями (Φ_{53}). Эта технологическая операция одновременно формирует прирост массы окатышей (Φ_{63}) и осуществляет термическое воздействие на сырые материалы (Φ_{72}). Готовые кондиционные окатыши с пониженным содержанием влаги транспортируют конвейерной транспортёрной лентой (Φ_{81}), на которой также организуют дополнительное тепловое воздействие (Φ_{92}). Полученные сырые окатыши с пониженным содержанием влаги, в отличие от традиционной технологии, структурно состоят из центральной части с более низкой пористостью и плотной оболочки. Окатыши с подобной структурой способны выдержать более интенсивную термическую обработку на обжиговой машине, после которой обожженное сырье имеет повышенные металлургические свойства.

Выбор оптимального производственного маршрута является комплексной аналитической задачей, учитывающей совокупность достижения оптимальных качественных показателей с технологическими ограничениями. В результате проведения морфологического анализа установили, что наибольшее количество технологических операций целенаправленного действия ока-

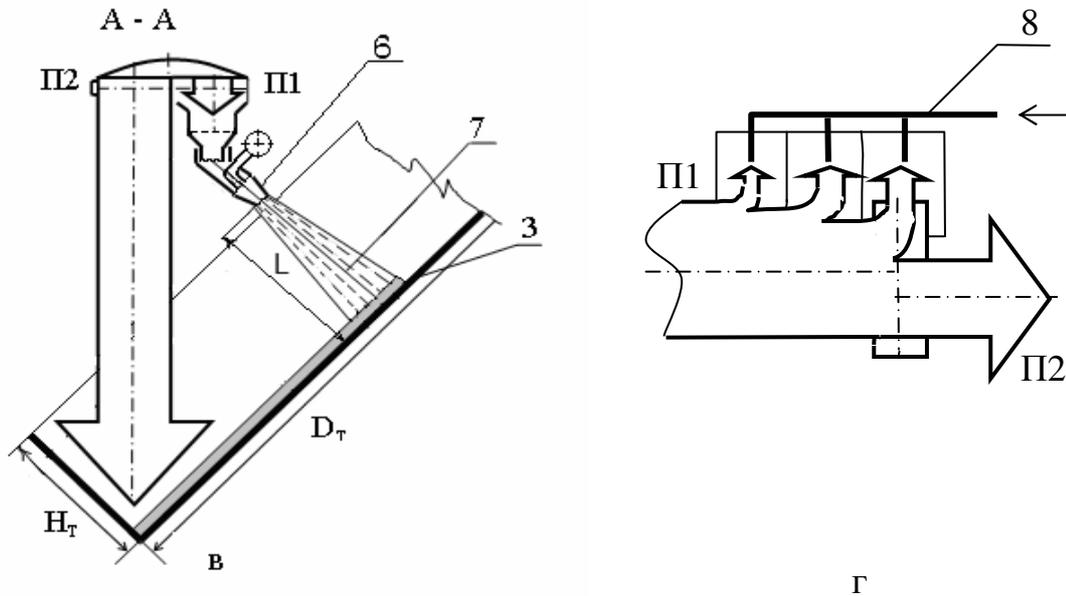
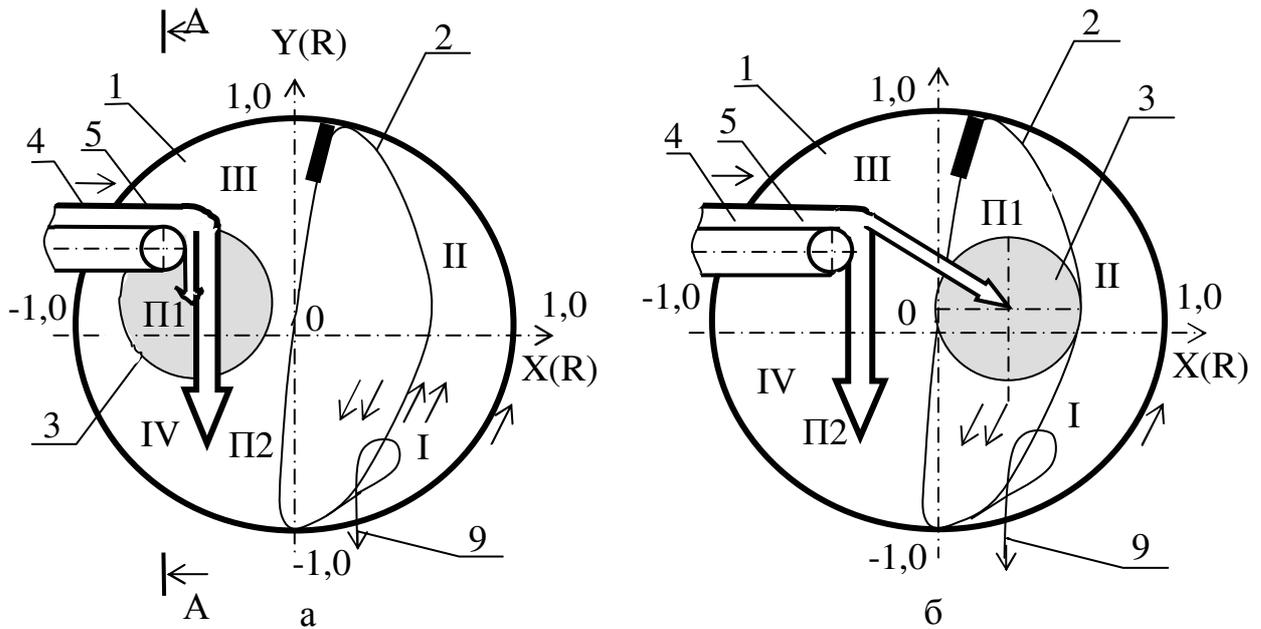
зывают на процесс подготовки железорудного сырья воздушно-шихтовые струи, включенные в производственный процесс.

В металлургии широко используются многофазные струи, структурно состоящие из потока твердых и (или) жидких частиц, рассредоточенных в потоке высоконапорного газообразного энергоносителя: сжатого или вентиляторного воздуха, острого пара, продуктов факельного сжигания топлива, высокотемпературной плазмы. Трехфазные (твердые частицы, жидкая связка в потоке воздуха) струи применяют для нанесения защитных, теплоизоляционных и упрочняющих покрытий, позволяющих регулировать свойства изделия. Эти технологии позволяют получить плотный напыленный слой (НС) твердых частиц на поверхности металлов, футеровок и ограждений без участия механических систем [2-13].

Двухфазные (жидкости в потоке газа) струи широко используют для распыливания жидкостей и для интенсификации охлаждения нагретых поверхностей. Струи сжатого воздуха применяют для аэродинамического обогащения сыпучих материалов. Твердые частицы, введенные в поток сжатого воздуха, способны глубоко внедряться в жидкую металлическую ванну и выполнять (песко- или дробеструйную) обработку твердой поверхности. Рабочий поток высокого давления передает часть (до 30-40 %) своего импульса и энергии частицам дисперсной фазы, которые ускоряются до высокой скорости, повышая кинетическую энергию и количество движения аэросмеси. При встрече с напыляемой поверхностью кинетическая энергия дисперсных частиц трансформируется в работу объемной и сдвиговой вязкой деформации пористого тела и переходит в энергию формования новой поверхности либо, напротив – в энергию глубокого внедрения, например, в расплавленную металлическую ванну.

Сжатый воздух является вторым по важности источником энергии после электричества для многих промышленных предприятий. Каждый 1 Бар давления снижает энергозатраты продукции на 6-8 %. Достоинство пневмосистем является отсутствие подвижных элементов, надёжность, долговечность, пожаробезопасность, работа без сливных линий, возможность удаления воздуха в атмосферу. Промышленные струйные насосы производительностью до 20 т/ч, работающие на сжатом воздухе давлением до 0,5-0,6 МПа и с расходом до 30 м³/т смеси, имеют КПД, равный 0,2-0,4. Энергопотребление современного турбокомпрессора ТА 1250/100 при P = 0,65 МПа и V = 100 м³/мин составляет 0,085 кВт·ч/м³, а у компрессора ТА 1100/55 расход электроэнергии ниже и составляет 0,076 кВт·ч/м³ при P = 0,42 МПа.

Технологическое пространство между разгрузочным узлом питательного конвейера и днищем окомкователя (свободное падение шихты с высоты 1-2 м) используется для формирования влажных воздушно-шихтовых струй. (рисунок 6) [2-12]. Они создают комплекс энергетических (тепловое, аэродинамическое, силовое) воздействий на сырую шихту и окатышей между загрузочным устройством и шихтовым гарнисажом окомкователя.



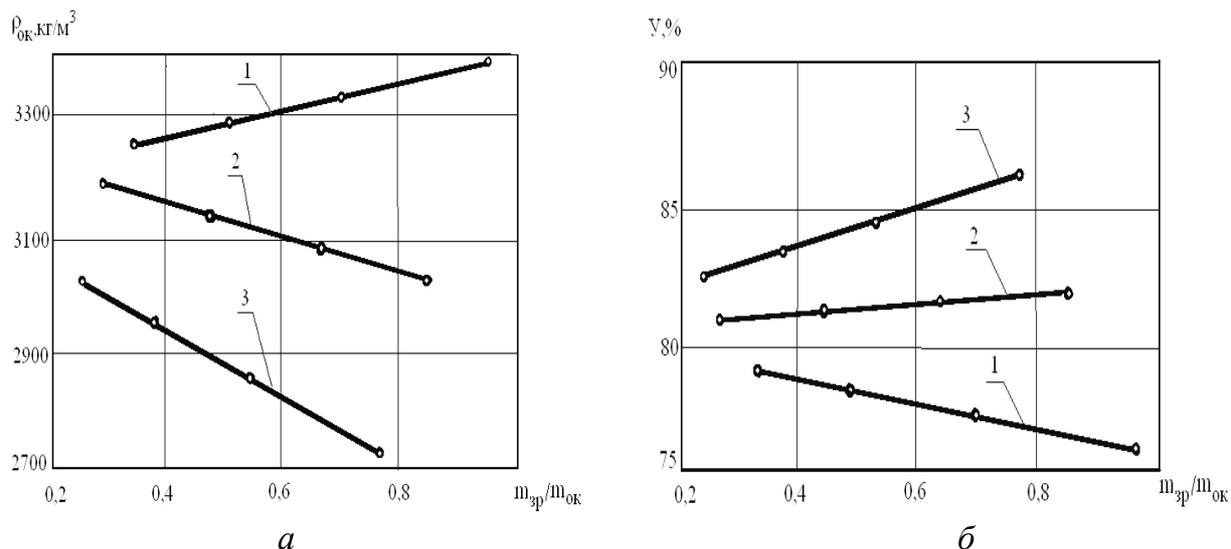
1, 2 – холостая и рабочая зоны; 3 – зона напыления (напыленный слой);
 4 – ленточный транспортер; 5 – загружаемая шихта; 6 – струйный аппарат;
 7 – воздушно-шихтовая струя; 8 – тракт сжатого воздуха; 9 – годные окаты-
 ши; I, II, III, IV – номера четвертей тарели

Рисунок 6 – Схема потоков загружаемой шихты промышленного окомковате-
 ля для технологии ЗНД – а, для технологии ЗОНД – б; установка в окомкова-
 теле одного – в и нескольких струйных аппаратов – г (вид сверху)

Воздушно-шихтовая струя ориентируется на шихтовый гарнисаж в хо-
 лостой зоне окомкователя (рисунок 6, а) по технологии ЗНД, либо на слой
 влажных окатышей (ОК) в рабочей зоне окомкователя (рисунок 6, б) по тех-
 нологии ЗОН и ЗОНД. Для организации ВШС стружчатые питатели из всей
 загружаемой шихты Π ($\Pi = \Pi_1 + \Pi_2$) с механизмом регулирования расхода ших-

ты отделяют часть шихты и формируют потоки П'1, П''1, П'''1, поступающие к струйному аппарату (СА). Остальная часть материала в виде потока П2 (70-80 %) загружаются в окомкователь в режиме свободно падающего потока шихты (СПШ).

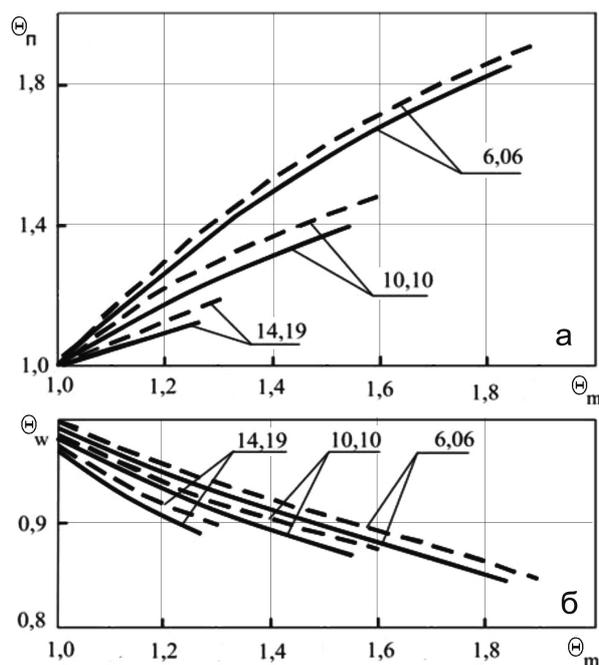
Плотность окатышей по технологии ЗНД зависит от массовой доли зародыша и его плотности по выражению: $\rho_{ок} = \rho_{зр} \cdot (m_{зр}/m_{ок}) + (1 - m_{зр}/m_{ок}) \cdot \rho_{об}$, где $\rho_{об} = 3200 \text{ кг/м}^3$ (рисунок 7). Если плотность зародыша выше плотности оболочки окатыша, то происходит его уплотнение. Зародыш с низкой плотностью разуплотняет весь окатыш, но значительно увеличивает степень восстановления (рисунок 7, б).



плотность зародышей, кг/м^3 : 1 – 3400; 2 – 3000; 3 – 2600

Рисунок 7 – Зависимость плотности влажных окатышей – а и восстановимости – б от массовой доли зародыша в окатыше

Зависимость безразмерных параметров влажности и прочности Θ_w и Θ_n , полученных на влажных окатышах по схеме ЗОН при $X(R)=0,25$, от безразмерного показателя массы Θ_m , показана на рисунке 8. Установили, что рост массы окатышей сопровождается более низким значением $\Theta_w = 0,82-0,88$, чем напыляемая шихта и окатыши основы ($\Theta_w = 0,98-1,00$). Влага, находящаяся под давлением струи воздуха, в капиллярах окатыша выжимается на поверхность и пропитывает НС. Она проникает в труднодоступные участки НС и в тончайшие участки поровых каналов, формируя прочное сцепление НС с окатышами и увеличивая число капиллярных контактов влаги с частицами. Удаление влаги из окатыша при напылении сопровождается термической (конвективной) сушкой и диффузией влаги из НС в поток воздуха. Значение Θ_w окатышей зависит от их размеров, толщины напыленного слоя и от их относительной массы.



влажность напыляемых окатышей 8,08 (—) и 9,16 % (-----)

Рисунок 8 – Зависимость безразмерных значений прочности – а и влажности окатышей – б, полученных напылением шихты при $X(R)=0,25$, от параметра Θ_m при $\Theta_t=0,32$, $t_b=100$ °С (цифры у кривых – диаметр окатышей)

Для окатышей диам. 14,19 мм значение $\Theta_w = 0,87$ выше, чем для окатышей диам. 6,06 мм ($\Theta_w = 0,82$), а отношение Θ_w / Θ_m для крупных окатышей выше (0,64), чем для более мелких (0,45). Это определяется небольшой толщиной напыленного слоя и большей площадью напыления. Более высокая влажность напыляемых окатышей увеличивает массу напыленного слоя и их прочность и одновременно повышает значение Θ_w с 0,82 до 0,84 при повышении влажности окатышей с 8,08 до 9,16 %.

Зависимость параметров Θ_m , Θ_w , Θ_n , полученных по схеме ЗОН, от режима работы окомкователя и температуры воздуха имеет характеристики, подобные параметрам окатышей, полученных по схеме ЗНД. Возрастание Θ_t при $t_b=\text{const}$ связано с уменьшением L/d_{ca} и площади напыления. По этой причине на оси ВШС растет масса напыленного слоя и значение Θ_m для одиночных окатышей на оси струи повышается до 1,98 при $t_b = 50$ °С. При напылении шихты воздухом с более высокой (150 °С) температурой значение Θ_m уменьшается до 1,71. Поскольку влажность окатышей и параметр Θ_w зависят от массовой доли НС (Θ_m) и от температуры воздуха (при $\Theta_t=\text{const}$), то с ростом температуры воздуха от 50 до 150 °С значение Θ_w уменьшается с 0,90 до 0,71 (в 1,28 раза), а относительная масса окатыша снижается в меньшей степени – в 1,18 раза. Упрочнение окатышей с увеличением Θ_t происходит за счет увеличения размеров и массы окатышей, а подсушенный НС в форме полусферической оболочки обладает более высокой прочностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецова Л.В. Информационно-логическая систематизация и совершенствование технологий разработки угольных пластов / Л.В. Кузнецова, Б.А. Анферов. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2001. – 151 с.

2. Павловец В.М. Разработка обобщенной структуры технологической схемы подготовки железорудной шихты к спеканию / В.М. Павловец, Л.И. Криволапова // Известия вузов. Черная металлургия. – 2011. – №4. – С. 36-42.

3. Павловец В.М. Сравнение способов получения комбинированных окатышей путем напыления шихты низкотемпературными струями сжатого воздуха / В.М. Павловец // Известия вузов. Черная металлургия. – 2005. – №6. – С. 11 – 17.

4. Павловец В.М. Продувка слоя влажных железорудных окатышей низкотемпературными струями сжатого воздуха / В.М. Павловец // Известия вузов. Черная металлургия. – 2006. – №2. – С. 7 – 12.

5. Павловец В.М. Загрузка железорудной шихты на эластичную ленту / В.М. Павловец // Известия вузов. Черная металлургия. – 2007. – №12. – С. 13 – 16.

6. Павловец В.М. Принципы организации принудительного зародышеобразования в холостой зоне тарельчатого окомкователя / В.М. Павловец // Известия вузов. Черная металлургия. – 2009. – №4. – С. 3 – 6.

7. Павловец В.М. Исследование теплосиловых режимов напыления влажной шихты, предназначенных для принудительного зародышеобразования / В.М. Павловец // Известия вузов. Черная металлургия. – 2009. – №6. – С. 9 – 13.

8. Павловец В.М. Исследование процесса получения влажных окатышей с использованием принудительного зародышеобразования / В.М. Павловец // Известия вузов. Черная металлургия. – 2010. – №6. – С. 15 – 20.

9. Патент № 2385351 Россия, МКИ⁷ С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец. – № 20081339095/02. Заявл. 01.10.08; Опубл. 27.03.10 Бюл. № 9 // Изобретения. Полезные модели. 2010. – № 9

10. Патент № 2387720 Россия, МКИ⁷ С22В 1/24. Способ подготовки шихты к спеканию / В.М. Павловец. – № 2008151256/02. Заявл. 23.12.08; Опубл. 27.04.10 Бюл. № 12 // Изобретения. Полезные модели. 2010. – № 10

11. Патент № 2390570 Россия, МКИ⁷ С22В 1/24. Способ термообработки окатышей / В.М. Павловец. – № 2008139092/02. Заявл. 01.10.08; Опубл. 27.05.10 Бюл. № 15 // Изобретения. Полезные модели. 2010. – № 15

12. Патент № 2402619 Россия, МКИ⁷ С22В 1/24. Способ получения окатышей / В.М. Павловец. – № 20091209993/02. Заявл. 02.06.09; Опубл. 27.10.10 Бюл. № 30 // Изобретения. Полезные модели. 2010. – № 30

13. Сизов А.Н. Газодинамика и теплообмен газовых струй в металлургических процессах / А.М. Сизов. – М.: Металлургия, 1987. – 256 с.

В.М. Павловец

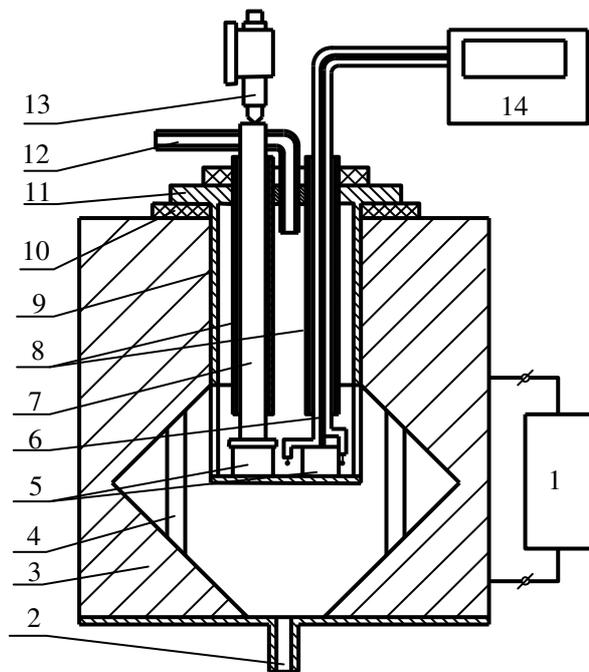
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

РАЗВИТИЕ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Исследованы температурные поля и дилатограммы спекаемых железорудных окатышей. Показана многостадийность процесса спекания. Установлено протекание теплового расширения и начальной стадии спекания в области нестационарного температурного поля окатыша. Приведены зависимости прочности образцов от дилатометрических параметров спекания. Сформулированы принципы совершенствования теплового режима обжига железорудных окатышей.

The temperature field and dilatogrammy sintered pellets zelezorudnyh. It is shown that the multistage process of sintering. Established course of thermal expansion and the initial stage of sintering in the unsteady temperature field pellets. The dependences of the strength of the samples from the dilatometric sintering parameters. The principles of improving the thermal regime of sintering of iron ore pellets.

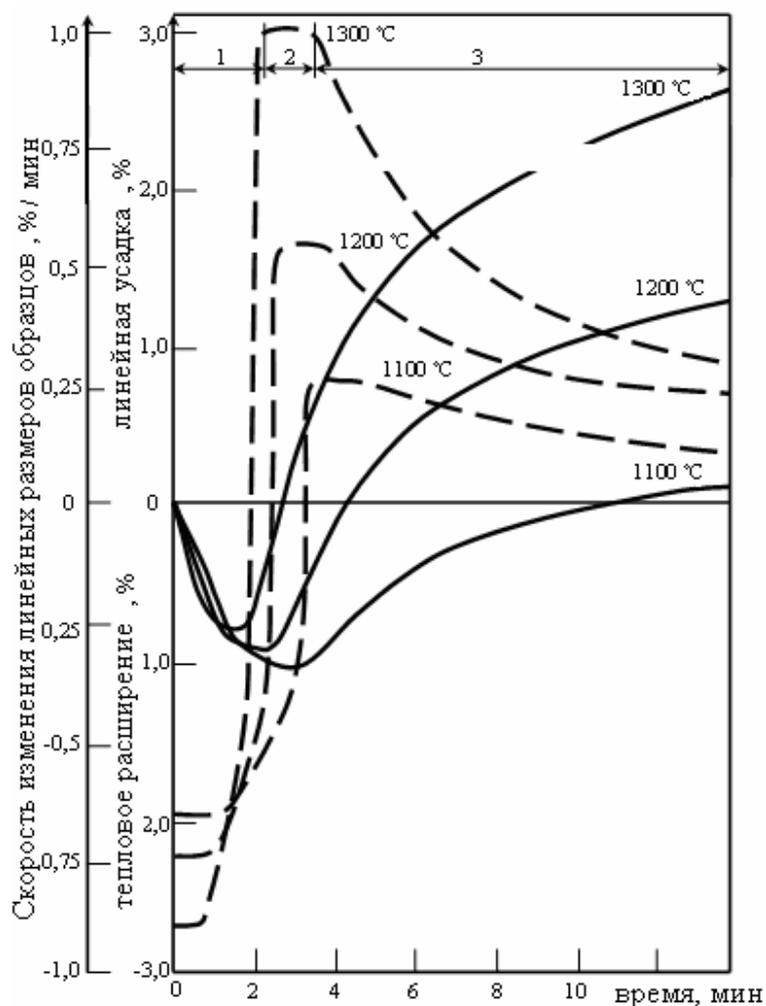
Для исследований пользовали индикаторную дилатометрическую кварцевую установку [1-5] (рисунок 1), в основании которой расположены окатыши: опытный – для снятия дилатометрических характеристик (погрешность при расчете дилатограммы составляет 1 % [1]) с использованием датчика индикаторного типа (цена деления 0,01 мм, погрешность дилатометра $0,1 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) и контрольный – для измерения температур по сечению окатышей электронным автоматическим потенциометром ЭПП-09М2. Для удобства дилатометрических исследований окатышам придавали бочкообразную форму. Нагрев окатышей осуществляли в электрической нагревательной печи, в которой было предусмотрено создание контролируемой атмосферы путем подачи газа требуемого состава. Часть образцов была выполнена прессованием увлажненной шихты в форме Архимедова цилиндра (диаметр и высота составляли 15 мм). Образцы из напыленного слоя шихты по технологии ЗНД (зародышеобразование напылением, доокомкование) готовили по стандартной методике. Окатыши готовили по технологии ЗО (стандартная) и по схемам ЗОН и ЗОНД с привлечением внешнего теплосилового воздействия.



1 – трансформатор тока; 2 – подвод газа; 3 – футеровка печи; 4 – силикатные нагреватели; 5 – образцы; 6 – термопары; 7 – штوك; 8 – направляющие; 9 – корпус дилатометра; 10 – тепловая изоляция; 11 – крышка; 12 – отвод газа; 13 – индикатор часового типа; 14 – потенциометр

Рисунок 1 – Схема экспериментальной дилатометрической установки

Результаты опытов получены в виде полных дилатограмм, представляющих собой изменение линейных размеров образцов и окатышей во времени, рассчитанных по соотношению – $100 \cdot \Delta l / l_0, \%$, по которым определяли скорость изменения линейных размеров – $v = 100 \cdot \Delta l / (l_0 \cdot \tau), \%$ / мин. В этом выражении $\Delta l = l_1 - l_0$, мм; где l_0, l_1 – начальный и текущий размер окатыша, мм; τ - время, мин [3 - 5]. Типичные дилатограммы образцов, нагреваемых при постоянной температуре греющей среды ($t_c = \text{const}$) и с постоянной скоростью нагрева ($v = \text{const}, v = t_m / \tau$, где t_m – среднемассовая температура окатышей) более 50 К/мин, показаны на рисунке 2. На дилатограмме первоначально фиксируется тепловое расширение – $TR = (100 \cdot \Delta l / l)_0, \%$, затем усадка, в начальной стадии которой имеется стадия усадки с максимальной скоростью (начальная стадия спекания) – $Y_1 = (100 \cdot \Delta l / l)_1, \%$, и стадия усадки с уменьшающимися скоростями (конечная стадия) – $Y_2 = (100 \cdot \Delta l / l)_2, \%$.



1 – стадия теплового расширения; 2 – начальная стадия спекания;
3 – конечная стадия спекания

Рисунок 2 – Дилатограммы (—) и скорости изменения линейных размеров (---) (неофлюсованные окатыши КачГОК)

Экспериментально установили, что за время выравнивания температур в окатышах завершается стадия теплового расширения и начальная стадия спекания (таблица 1). Развитие нестационарного периода при нагреве окатышей, обусловленное перепадом температур между поверхностью и центром образца, совпадает с знакопеременным изменением его линейных размеров. Данные о максимальном перепаде температур по сечению образцов (при $t=1100-1300\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\alpha_{\Sigma}=178-270\text{ Вт/м}^2\text{ К}$, $Bi=0,84-1,26$) представлены в таблице 2. При низких температурах греющей среды продолжительность расширения больше длительности начальной стадии спекания, при высоких – величины сопоставимы. Повышение интенсивности нагрева от 50 К/мин до 400 К/мин увеличивает перепад температур для цилиндрического образца диаметром 15 мм от 45 К до 580 К и существенно уменьшает длительность каждой стадии. Несколько повышает перепад температур офлюсование железорудных образцов в связи с изменением эффективного коэффициента теплопроводности.

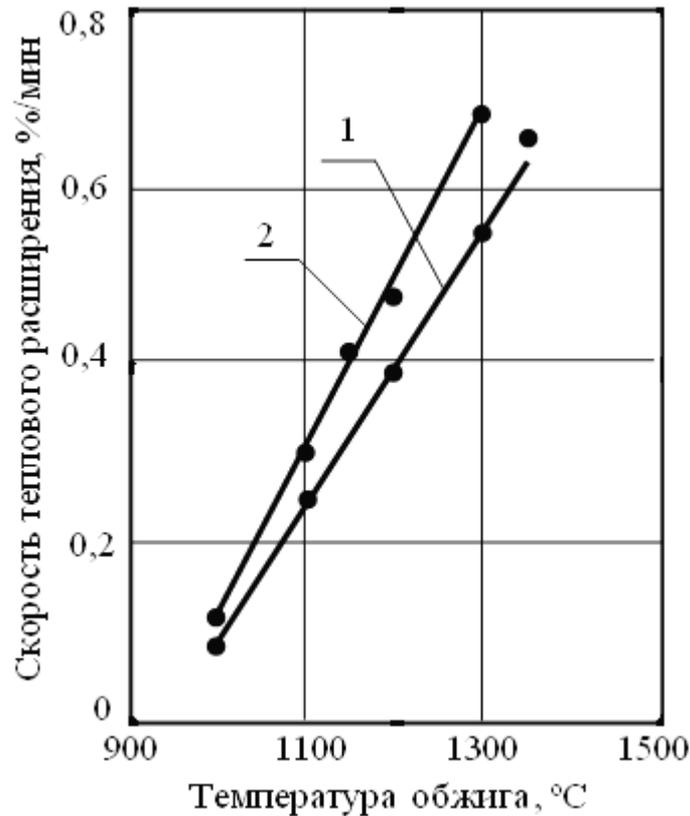
Таблица 1 – Длительность стадий расширения (τ_0), усадки с постоянной скоростью (τ_1) и выравнивания температур в образце (τ) для печи с постоянной температурой обжига

Температура обжига, T, °С	Материал											
	Ш, %	Качканарский			Ш, %	Лебединский			Ш, %	Михайловский		
		τ_0	τ_1	τ		τ_0	τ_1	τ		τ_0	τ_1	τ
1200	4,11	2,3	2,0	3,7	2,12	3,0	2,0	4,0	10,57	2,1	2,5	3,8
	5,33	2,4	2,0	3,9	3,90	3,2	2,2	4,3	11,64	2,3	2,6	4,0
	5,91	2,5	1,8	4,5	4,64	3,3	2,2	4,3	12,46	2,5	2,5	4,1
	6,94	2,7	2,0	4,2	5,63	3,3	2,3	4,4	13,29	2,8	2,5	4,1
	8,03	2,7	2,3	4,3	6,27	3,4	2,5	4,5	14,54	2,7	2,5	4,3
	8,79	2,8	2,5	4,5	7,64	3,6	2,3	4,8	15,62	2,7	2,5	4,3
1300	3,83	1,8	1,5	3,2	1,76	2,0	3,2	3,5	9,81	1,6	2,0	3,3
	4,11	2,0	1,5	3,2	2,12	2,1	3,0	3,5	10,57	1,6	2,1	3,3
	5,33	1,8	1,7	3,3	3,9	2,2	2,8	3,6	11,64	1,8	2,1	3,5
	5,91	2,0	1,75	3,5	4,64	2,3	2,5	3,7	12,46	1,7	2,0	3,8
	6,94	2,1	1,8	3,6	5,63	2,2	3,2	3,8	13,29	1,8	2,2	4,0
	8,03	2,1	1,8	4,0	6,27	2,3	3,4	4,0	14,54	2,0	2,3	4,2
	8,79	2,4	2,0	4,0	7,64	2,2	2,2	4,2	15,62	2,0	2,2	4,2

Таблица 2 – Максимальный перепад температур в образце при постоянной температуре обжига

Температура обжига, T, °С	Материал					
	Качканарский		Лебединский		Михайловский	
	Ш, %	ΔT_{\max} , К	Ш, %	ΔT_{\max} , К	Ш, %	ΔT_{\max} , К
1200			1,76	550	9,81	580
	4,11	770	2,12	570	10,57	610
	5,33	580	3,90	540	11,64	660
	5,91	630	4,64	620	12,46	570
	6,94	650	5,63	640	13,29	580
	8,03	740	6,27	650	14,54	590
	8,79	760	7,64	660	15,62	600
1300	3,83	800	1,76	650	9,81	660
	4,11	920	2,12	720	10,57	740
	5,33	800	3,9	660	11,64	710
	5,91	650	4,64	700	12,46	700
	6,94	700	5,63	750	13,29	700
	8,03	850	6,27	760	14,54	710
	8,79	880	7,64	770	15,62	720

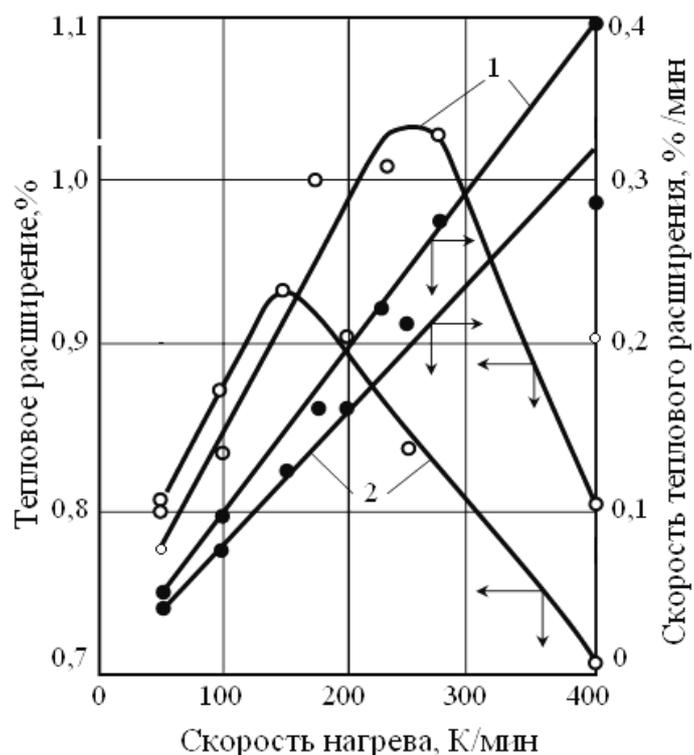
При отсутствии фазовых и диффузионных превращений скорость теплового расширения определяется температурой обжига (рисунок 3).



железорудный концентрат: Качканарского – 1 и Михайловского – 2 ГОКов (степень офлюсования 1,2).

Рисунок 3 – Влияние температуры обжига ($t_c = \text{const}$) на интенсивность теплового расширения образцов

Условия сохранения прочности сформованных дисперсных систем требуют низких коэффициентов термического расширения, модуля упругости и высокой теплопроводности [1-5]. Опасность высоких значений к.л.т.р. заключается в том, что при нагреве сформованного образца расширяющиеся частицы ослабляют межчастичные контакты, в результате чего образец разупрочняется. При низких значениях к.л.т.р. подобный механизм разупрочнения менее вероятен. С ростом скорости нагрева образцов растет перепад температур между поверхностью и его центром. Поэтому одновременно с интенсивной передачей тепла в центр образца растет конкуренция между усадкой и тепловым расширением на поверхности тела и конкуренция между этими процессами с медленно протекающим тепловым расширением в центре окатышей. Причем тепловое расширение при спекании образцов, несмотря на усадку, протекает одновременно с ростом температуры. Поэтому при низких скоростях нагрева (до 150-250 К/мин) усадка развита слабо (рисунок 4) и величина теплового расширения возрастает.

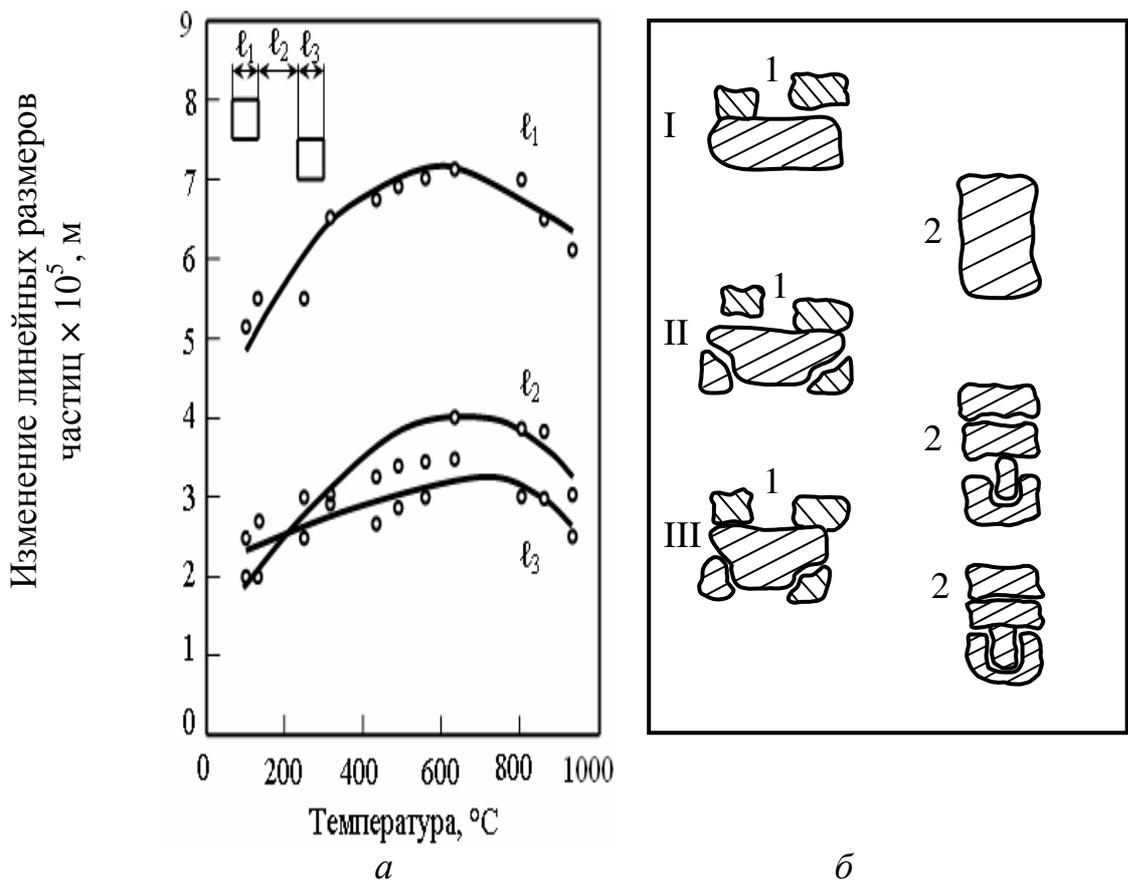


железорудный концентрат Качканарского ГОКа: 1 – неофлюсованный ; 2 – офлюсованный ($\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,2$)

Рисунок 4 – Влияние скорости нагрева на тепловое расширение и его интенсивность

При скорости нагрева свыше 150-250 К/мин усадочные процессы доминируют над тепловым расширением, что позволяет сделать вывод о развитии уплотнения железорудных материалов в стадии теплового расширения.

Для уточнения механизма теплового расширения были выполнены dilatометрические исследования и визуальные наблюдения за частицами, расположенными на поверхности железорудного окатыша в процессе непрерывного нагрева ($v=15$ К/мин) [5-6]. Высокотемпературная нагревательная установка ИМАШ-5С - 65 позволяла с помощью оптического микроскопа (увеличение 200) при нагреве образца в вакууме наблюдать за частицами, находящимися на его поверхности, и с помощью координатной сетки микроскопа измерять линейные размеры частиц и межзеренных расстояний. Для этого были выбраны конгломераты частиц, расположенные на расстоянии (ℓ_2) друг от друга и имеющие разные геометрические размеры ($\ell_1 = 0,056$ мм, $\ell_3 = 0,025$ мм) (рисунок 5). Первоначально зерна, составляющие компактную структуру конгломератов, не имеют четких границ (рисунок 5, б), но в процессе нагрева появляются межчастичные границы и увеличиваются межчастичные расстояния. С ростом температуры линейные размеры частиц (рисунок 5, а) и межчастичные расстояния увеличиваются из-за теплового расширения.



в позиции б: I – исходное расположение частиц; II – при температуре 600 °C;
III – при температуре 900 °C

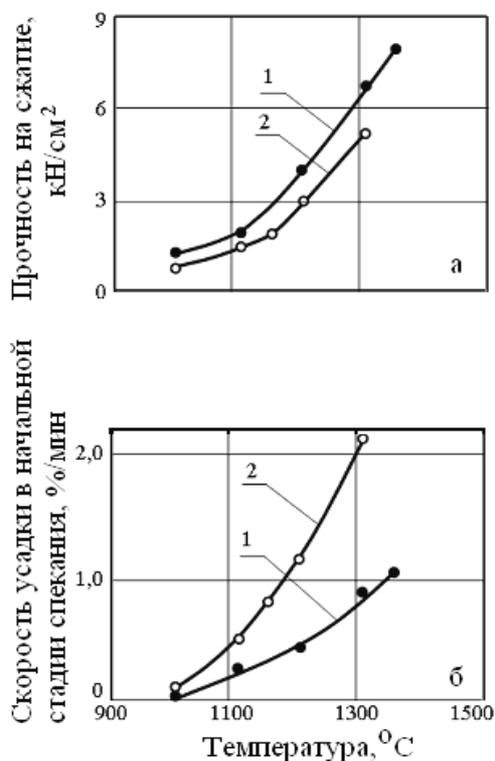
Рисунок 5 – Изменение линейных размеров частиц в зависимости от температуры – а и их положение в процессе непрерывного нагрева – б

С началом спекания (720-750 °C) происходит стабилизация дилатометрических изменений, а затем уменьшаются межчастичные расстояния – протекает усадка, в результате частицы сближаются и изменяется их взаимное расположение. Причем усадка происходит не обязательно в направлении, обратном тепловому расширению, а протекает в направлениях, наиболее легких для перемещения частиц. В этом смысле механизм усадки подобен процессу перегруппировки и скольжению частиц в твердой фазе. Поэтому в стадии теплового расширения, наряду с увеличением межчастичного расстояния, отдельные частицы сближаются и расстояния между ними уменьшаются. Наоборот, в стадии усадки некоторые частицы, занявшие под действием теплового расширения определенное положение, препятствуют сближению соседних частиц и тормозят усадку. Характер пористости оказывает влияние на усадочные процессы. Для окатышей, полученных комбинированным методом с участием теплосилового воздействия, преобладает открытая пористость, поэтому усадка и её интенсивность выше, чем у окатышей, полученных способом – прототипом ЗО, у которого открытая пористость существенно ниже (таблица 3).

Таблица 3 – Усадка и её интенсивность в начальной стадии спекания окатышей, полученных по различным технологическим схемам

Температура обжига, °С	Пористость, %	Усадка, %, и её интенсивность, %/мин, в начальной стадии спекания окатышей для технологической схемы производства:			
		3О	ЗНД	3ОН	3ОНД
1100	22,5-30,3	0,6/0,25	0,8/0,33	0,7/0,29	0,5/0,21
	30,4-31,2	0,7/0,29	0,8/0,33	0,9/0,37	0,6/0,25
	34,2-36,5	0,8/0,33	0,9/0,37	0,8/0,33	0,8/0,33
1200	27,4-28,1	1,2/0,55	1,3/0,59	1,4/0,65	1,3/0,59
	29,1-30,5	1,3/0,59	1,4/0,64	1,5/0,68	1,4/0,65
	32,4-33,9	1,5/0,68	1,6/0,71	1,6/0,72	1,5/0,68
1300	26,1-27,4	2,2/1,05	2,4/1,15	2,4/1,16	2,3/1,11
	28,0-30,1	2,4/1,17	2,6/1,26	2,5/1,21	2,5/1,25
	30,4-32,5	2,6/1,26	2,7/1,31	2,8/1,33	2,6/1,25

С целью установления характера упрочнения в начальной стадии спекания образцы из качканарского и михайловского концентратов (основностью 1,2) нагревали при $t_c = \text{const}$ только в стадии теплового расширения и начальной стадии спекания. Фиксировали кинетику дилатометрических изменений, а после охлаждения образцов вместе с печью измеряли их прочность (рисунок 6).



концентрат: 1 – Качканарского ГОКа; 2 – Михайловского ГОКа
Рисунок 6 – Влияние температуры обжига на прочность образцов – а и скорость усадки в начальной стадии спекания – б

Как видно, увеличение температуры «изотермической» выдержки приводит к росту усадки в начальной стадии спекания, особенно при температурах более 1200 °С. В начальной стадии спекания ($\tau=1,92-2,95$ мин) за счет межчастичного проскальзывания происходит максимальное образование контактов, что в работах М.Ю. Бальшина характеризуется как стадия «автономной консолидации» системы, при которой усадка не зависит от изменения внутреннего строения частиц.

При температурах до 1150 °С усадка и прочность окатышей, обожженных в разных газовых средах, отличаются несущественно (рисунок 7).

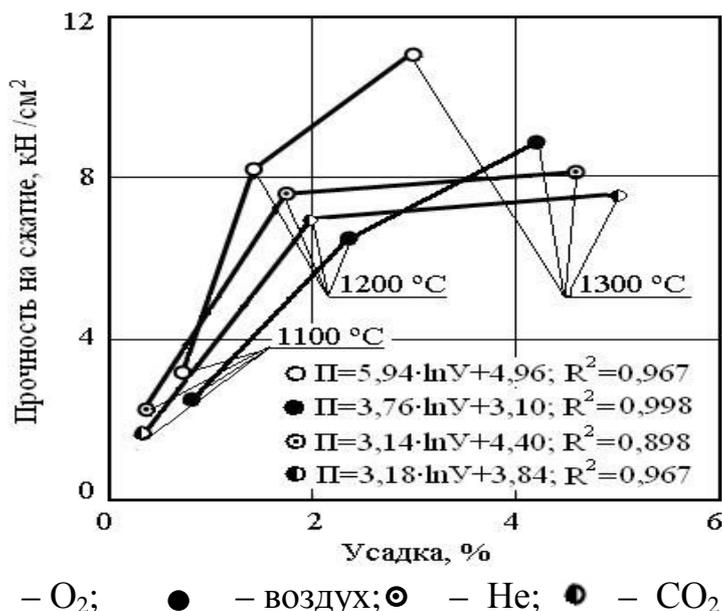
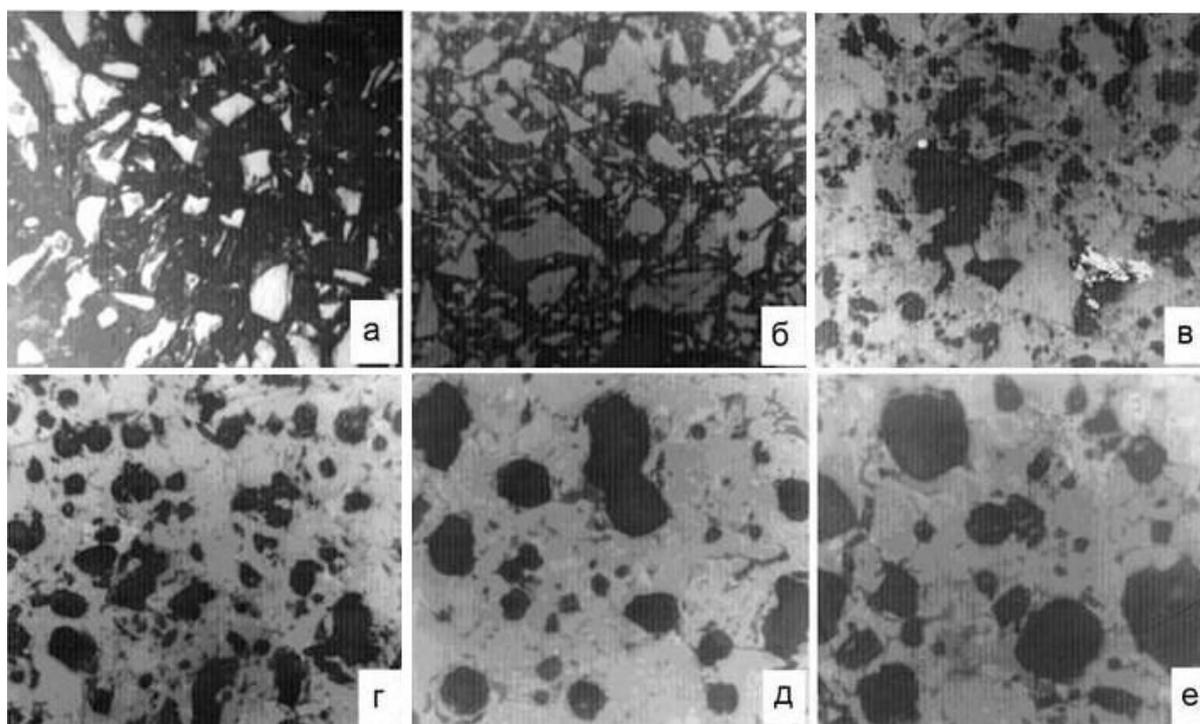


Рисунок 7 – Связь усадки с прочностью железорудных образцов

При высоких температурах максимальная прочность получена в кислороде и нейтральной среде (He), что связано с более ранним началом спекания (T_0 – минимальная в кислороде) и интенсивным протеканием декарбонизации. Можно заключить, что наиболее благоприятные показатели уплотнения с высокой усадкой и низким тепловым расширением, достигнутые с полным окислением и декарбонизацией, формируются в условиях нейтральной среды. Эти данные дополняют исследования сотрудников института металлургии УРО РАН по получению окатышей с

Согласно принципам консолидации М.Б. Бальшина деформация исходной структуры возможна как в сторону уплотнения, так и разуплотнения. Некоторые методы воздействия приводят к нарушению контактов частиц, повышая уплотняемость образца, но снижают консолидируемость системы. Эти положения подтверждаются исследованиями микроструктуры окатышей, подвергнутых поэтапной термообработке (рисунок 8).



$a - \tau = 0, t_{\text{ок}} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}; b - \tau = 0,5 \text{ мин}, t_{\text{ок}} = 1140 \text{ } ^\circ\text{C}; в - \tau = 1,0 \text{ мин}, t_{\text{ок}} = 1230 \text{ } ^\circ\text{C}; г - \tau = 2,0 \text{ мин}, t_{\text{ок}} = 1295 \text{ } ^\circ\text{C}; д - \tau = 8,0 \text{ мин}, t_{\text{ок}} = 1300 \text{ } ^\circ\text{C}; e - \tau = 13,0 \text{ мин}, t_{\text{ок}} = 1300 \text{ } ^\circ\text{C}$

Рисунок 8 – Микроструктура железорудных образцов, полученная в процессе поэтапного нагрева

В экспериментах рабочее пространство печи ($t_c=1300 \text{ } ^\circ\text{C}$) опускали 10 окатышей диаметром 10 мм из качканарского концентрата естественной основности и осуществляли поэтапный нагрев с последующим охлаждением образцов на воздухе. До времени нагрева, равного 3,0 мин, окатыши выводили из печи с интервалом длительности 0,5 мин, после чего интервал увеличивали до 2,0 мин. Общее время нагрева составило 13,0 мин. У контрольного окатыша фиксировали среднемассовую температуру. На обожженных образцах с помощью координатной сетки микроскопа (увеличение 170 и 240) определяли средний размер частиц и межчастичное расстояние (шлиф 1 и 2). Для остальных шлифов регистрировали средний размер (диаметр) пор и количество пор на участке шлифа площадью $0,78 \text{ мм}^2$ по 20 независимым измерениям величин.

В исходном состоянии окатыш имеет структуру обломочного типа, частицы разориентированы, четко видны межчастичные границы, характер пористости – канального типа, а межчастичные расстояния имеют максимальное значение (рисунок 8). В процессе нагрева межчастичные расстояния резко уменьшаются (рисунок 8, б, в), хотя характер структуры второго образца (рисунок 8, б), по существу, аналогичен структуре исходного. Число контактов частиц в плоскости шлифа относительно невелико, а преобладающими являются точечные контакты. После 30 секундной выдержки ($t_{\text{ок}}=1140 \text{ } ^\circ\text{C}$) происходит заметное уплотнение структуры (рисунок 8, б), наблюдается увеличе-

ние количества точечных контактов и возрастает площадь межчастичных контактов. На следующем этапе нагрева (рисунок 8, в) формируются поры канального типа произвольного размера и конфигурации. На второй минуте выдержки (рисунок 8, г) начинается сфероидизация пор, увеличивается размер и уменьшается их количество. На третьей минуте обжига (рисунок 8) структура имеет упорядоченный характер и появляются сплошные границы между частицами. Происходит сфероидизация, укрупнение пор и уменьшение их количества.

По характеру межчастичных связей, пористости и микроструктуры окатышей установили протекание трех стадий уплотнения в процессе нагрева: тепловое расширение длительностью 0-1,0 мин, начальная стадия спекания протяженностью 1,0-3,0 мин и конечная стадия спекания длительностью 3,0-13,0 мин, что свидетельствует об удовлетворительном совпадении результатов микроструктуры с дилатометрическими характеристиками окатышей. В интервале 0-3,0 мин протекание теплового расширения и усадки в начальной стадии спекания действует в направлении уплотнения системы, но существенного увеличения прочности окатышей не происходит, вследствие недостаточной развитости межчастичных контактов. Поэтому нефиксированные межчастичные контакты не делают такую структуру совершенной. По механизму объемной диффузии в конечной стадии спекания максимально фиксируются межчастичные контакты и происходит дальнейшее уменьшение пористости. В соответствии с принципами консолидации начальная стадия приводит к уплотнению системы, но не обеспечивает фиксированных контактов, в результате чего прочность окатышей будет сравнительно низкой. Фиксация контактов, способствующая консолидируемости частиц образца, основывается на выдержке при высоких температурах обжига.

Согласно теории термостойкости и теории спекания усадку стремятся всемерно увеличить, а тепловое расширение ограничивают. Увеличение теплового расширения окатышей из качканарского концентрата существенно снижает усадку и прочность образцов на сжатие (рисунок 9).

Связь усадки с прочностью традиционная – чем выше усадка, тем больше прочность образцов. Учитывая условия уменьшения теплового расширения и усадки начальной стадии спекания, а для офлюсованных качканарских окатышей – процесс декарбонизации, скорость нагрева для неофлюсованных окатышей ограничили величиной 275-400 К/мин, а офлюсованных – интервалом 150-250 К/мин. Температура «изотермической» выдержки (температура максимальной прочности) качканарских окатышей преимущественно составляет 1200-1350 °С [90]. Длительность выдержки на основании анализа микроструктуры образцов ограничили величиной 4-5 минутами.

В результате проведенных экспериментов установили, что закономерности спекания железорудных окатышей можно использовать для совершенствования теплотехнического режима обжига. Главные требования к проектируемому режиму заключаются в интенсивной термообработке окатышей в стадии теплового расширения и в начальной стадии спекания. В конечной

стадии спекания необходима более длительная выдержка при оптимальной температуре обжига.

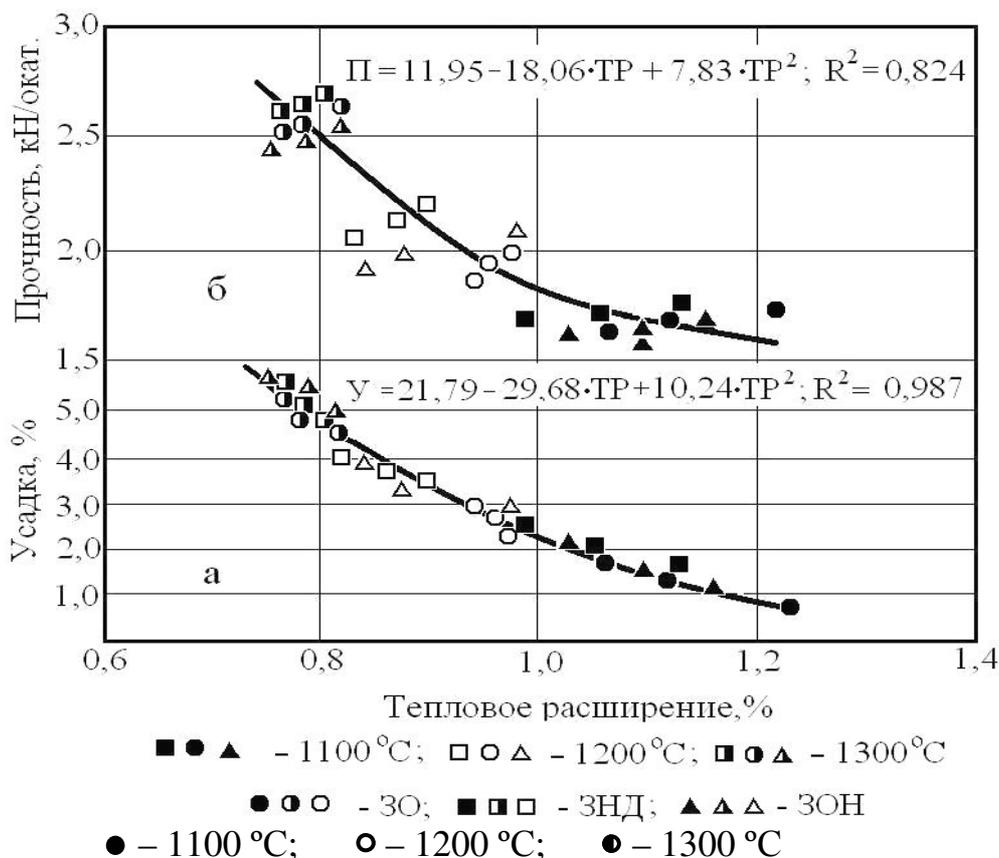


Рисунок 9 – Влияние теплового расширения на усадку – а и прочность железорудных образцов – б

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полюшенко В.А. Справочник по практическому металловедению / В.А. Полюшенко [и др.]. – Киев: Техника, 1984. – 135 с.
2. Новикова С.И. Тепловое расширение твёрдых тел / С.И. Новикова. – М.: Наука, 1974. – 294 с.
3. Мазурин О.В. Тепловое расширение стекла / О.В. Мазурин [и др.]. – Л.: Наука, 1969. – 199 с.
4. Ярошенко Ю.Г. Особенности процесса спекания при изотермических условиях обжига железорудных окатышей / Ю.Г. Ярошенко [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. – 1983. – № 4. – С. 93 – 96.
5. Ярошенко Ю.Г. Исследование дилатометрических изменений и теплового состояния спекаемых железорудных концентратов / Ю.Г. Ярошенко [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия – 1983. – № 6. – С. 107 – 110.

А.А. Уманский, В.Н. Кочергин

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО СТАЛИ В УСЛОВИЯХ ККЦ-1 «ЕВРАЗ ЗСМК»

В условиях кислородно-конвертерного цеха №1 «ЕВРАЗ ЗСМК» проведены исследования влияния параметров внепечной обработки на качество конструкционной стали. Установлено, что при внепечной обработке расплава на установках доводки металла происходит насыщение расплава азотом, повышение концентрации которого отрицательно сказывается на качестве производимого из слитков металлопроката. При этом прирост концентрации азота в стали зависит от таких параметров, как продолжительность продувки газообразным азотом, расход газа на продувку, температура расплава. Для улучшения качества стали рекомендовано при внепечной обработке перейти на продувку аргоном.

In the top-blown oxygen vessel plant №1 of «EVRAZ ZSMK» it was made the research of influence of parameters of processing metal on secondary metallurgical aggregate on the quality conditions of constructional steel. It was determined that by the processing of metal on the secondary metallurgical aggregate it becomes the saturation of melt by nitrogen, by which the quality conditions of steel billets decrease. Increasing the concentration of nitrogen in the steel depends on such parameters as continuance of blowing, consumption of gas for blowing, melt temperature. For increasing the quality conditions of constructional steel it was recommended to blow the steel by argon on the secondary metallurgical aggregate.

В условиях кислородно-конвертерного цеха №1 (ККЦ-1) «ЕВРАЗ ЗСМК» проведено исследование влияния параметров внепечной обработки на качество конструкционной кипящей стали марки 10кп. Технологическая схема производства слитков конструкционной кипящей стали в ККЦ-1 включает в себя выплавку стали в трех кислородных конвертерах емкостью 160 т каждый с последующей внепечной обработкой стали на установках доводки металла (УДМ) и разливкой в изложницы. На УДМ металл в сталеразливочных ковшах продувают азотом с целью гомогенизации по химическому составу и температуре, а также производят окончательное раскисление и легирование стали (ввод раскислителей и легирующих производится также на выпуске из конвер-

тера под струю металла). После обработки на УДМ сталь разливается в уширенные книзу изложницы. Полученные слитки прокатывают в обжимном цехе на заготовки сечением 100×100 мм, которые затем передаются на мелкосортный стан 250-2 для производства готового проката. Прокатанные в обжимном цехе заготовки подвергают тщательному контролю качества поверхности, после проведения которого отбраковывают 20-25% заготовок. Отбракованные заготовки переводят в рядовые марки стали, что приводит к потерям 500 руб./т.

Ранее проведенными статистическими исследованиями [1-4] установлено значимое влияния ряда технологических параметров выплавки и разлива стали на качество поверхности заготовок. В частности установлено, что при увеличении содержания азота в готовой стали с 0,0045% до 0,006% отсортровка по дефектам поверхности повышается на 13,3%.

Известно, что повышение концентрации азота приводит к охрупчиванию стали. При этом механизм влияния азота на качество стали зависит от формы существования азота в стали. При наличии в стали значительного количества нитридообразующих элементов (Ti, Al, Zr, V), азот образует с ними соединения, которые имеют склонность концентрироваться по границам зерен, вызывая уменьшение пластичности металла. Склонность нитридов к ликвации является следствием значительного уменьшения растворимости азота в железе при кристаллизации и полиморфных превращениях (рисунок 1). При отсутствии в стали нитридообразующих элементов азот присутствует в металле в виде твердого раствора. В процессе затвердевания стали после образования α -Fe начинается выделение азота из раствора в виде включений нитридов железа (Fe_2N , Fe_4N , Fe_8N). Это выделение может продолжаться длительное время после охлаждения и, так как оно происходит в основном при низкой температуре, выделившиеся включения дисперсны (размером порядка 10^{-3} мкм). Дисперсные включения нитридов железа располагаются по кристаллографическим плоскостям и, препятствуя перемещению дислокаций, вызывают охрупчивание металла. Для рассматриваемой стали марки 10кп очевидно имеет место второй механизм, так как содержание нитридообразующих элементов в ней незначительно.

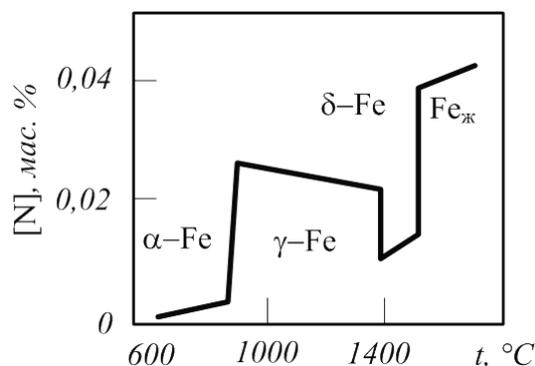


Рисунок 1 – Зависимость растворимости азота в железе от температуры

Содержание азота в готовой стали определяется его концентрацией в исходной металлошихте и приростом его содержания по ходу процессов выплавки, внепечной обработки и разлива стали. По данным множества иссле-

дований наиболее значительный прирост содержания азота наблюдается при использовании азота для продувки металла в сталеразливочном ковше на установках внепечной обработки.

Для подтверждения воспроизводимости результатов ранее проведенных работ [1-4] исследовали зависимость отбраковки заготовок от содержания азота в готовой стали на новой выборке плавок (годовая выборка плавок стали 10кп за 2010 г.). Полученные данные согласуются с результатами предыдущих исследований – повышение концентрации азота в интервале 0,003-0,007% приводит к увеличению отбраковки заготовок по дефектам поверхности (рисунок 2). Затем провели статистическое исследование влияния параметров продувки стали азотом при внепечной обработке на содержание азота в готовой стали.

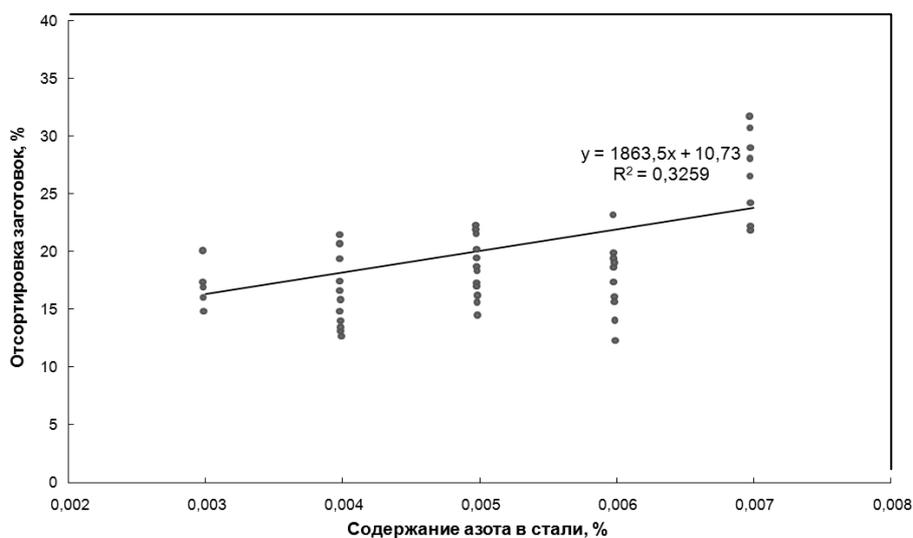


Рисунок 2 – Влияние концентрации азота в стали на отбраковку заготовок

В результате установлено, что на содержание азота в готовой стали значимое влияние оказывают такие факторы, как: продолжительность продувки, расход азота на продувку, температура обрабатываемого металла (рисунок 3).

При увеличении времени продувки и расхода азота происходит увеличение его концентрации в металле (рисунок 3 а, б). Повышение температуры расплава приводит к повышению концентрации азота в стали (рисунок 3 в). Влияние температуры на прирост содержания азота в металле связан с тем, что растворимость азота зависит от температуры расплава. Процесс растворения азота в железе является эндотермическим, поэтому при снижении температуры растворимость уменьшается. В соответствии с уравнением изобары Вант-Гоффа зависимость растворимости газа S от температуры может определяться следующим уравнением [5]:

$$S = C \cdot \exp\left(-\frac{\Delta H_s}{2RT}\right), \quad (1)$$

где C – постоянная интегрированная; ΔH_S – изменение энтальпии при растворении и образовании раствора данного газа; R – универсальная газовая постоянная; T – температура.

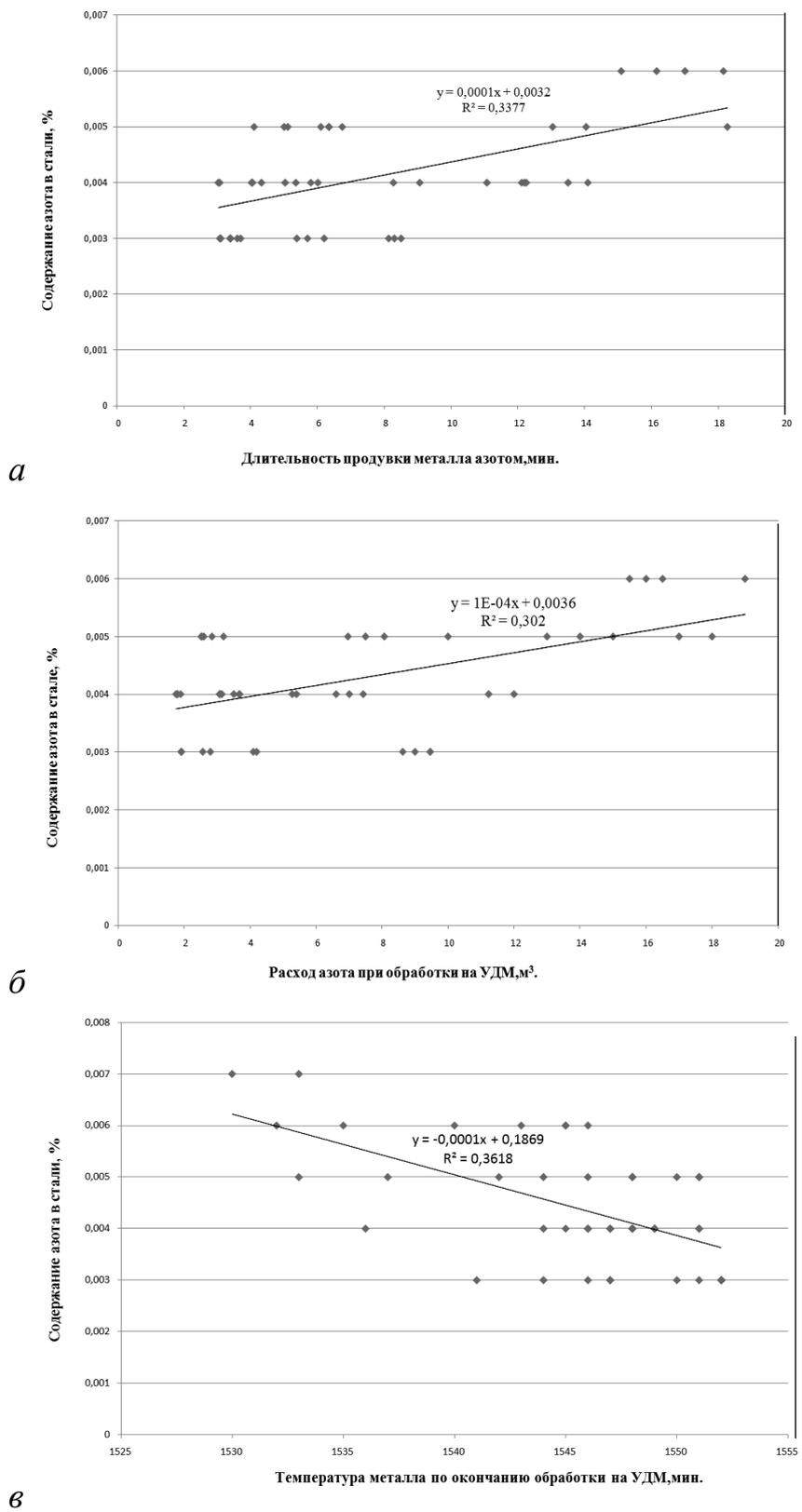


Рисунок 3 – Влияние параметров внепечной обработки на УДМ на содержание азота в стали

Эндотермичность процесса объясняется тем, что расходуется энергия на разрыв связи между атомами в молекуле газа. Температурная зависимость константы растворения газов в жидком железе изучена многими исследователями. Наиболее новые данные удовлетворительно описываются уравнением:

$$\lg N_2 = (-770/T) - 0,95, \quad (2)$$

где T – температура, К.

Таким образом, можно констатировать, что интенсивность насыщения металла азотом в значительной степени определяется параметрами продувки (временем продувки и расходом газа), а также температурой обрабатываемого расплава. При этом полученные данные согласуются с данными других исследователей, в частности проведенными в электросталеплавильном цехе ОАО «НКМК» [6].

Наиболее приемлемой альтернативой азоту для использования в качестве дутья при внепечной обработке является аргон. Аргон, как и азот образуется в качестве побочного продукта в цехе разделения воздуха при производстве кислорода и поэтому имеется на комбинате в достаточном количестве. При этом аргон в отличие от азота является нейтральным газом и не оказывает отрицательного влияния на качество стали.

На основании полученных данных для улучшения качества конструкционной стали рекомендовано изменить состав дутья, используемого при внепечной обработке на УДМ: перейти на продувку аргоном взамен продувки азотом. В результате ожидается уменьшение отбраковки заготовок на 5% за счет улучшения качества их поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уманский А.А. Исследование влияния состава исходной металлической шихты на качество конвертерной стали / А.А. Уманский, Н.А. Чернышева // Вестник горно-металлургической секции российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. – Москва-Новокузнецк, 2010. – Вып. 25. – С. 42-47.

2. Кузнецов И.С. Влияние технологических факторов на качество поверхности заготовок конструкционных сталей / И.С. Кузнецов, А.Е. Прахов, А.А. Уманский, Ю.Т. Рубцов // Сталь. 2008. - №4. – С. 43-45.

3. Кадыков В.Н. Применение статистических моделей для оптимизации технологии производства заготовок из слитков / В.Н. Кадыков, А.А. Уманский // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2008. - №6. – С. 20-22.

4. Кадыков В.Н. Исследование влияния технологических факторов на качество поверхности заготовок конструкционных марок сталей / В.Н. Кадыков, А.А. Уманский // Вестник горно-металлургической секции российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. – Новокузнецк, 2007. – Вып. 18. – С. 40-48.

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

6. Гизатулин Р.А. Освоение технологии перемешивания стали в ковше газом через пористые пробки / Р.А. Гизатулин, П.Е. Сычев, Н.А. Козырев, О.В. Путилова // Труды шестого Конгресса сталеплавильщиков. – М.: Черметинформация. – 2001. – С. 323-325.

УДК 669.18

М.В. Темлянцев, К.Е. Костюченко, М.В. Матвеев, Е.Н. Темлянцева
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННОГО ФАКТОРА И СОСТАВА АТМОСФЕРЫ НА ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЕ АЛЮМОПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ КОВШЕВЫХ ОГНЕУПОРОВ

В статье представлены результаты исследования кинетики обезуглероживания алюмопериклазоуглеродистых ковшевых огнеупоров.

In the article outcomes of experiments on research of relation of depth decarbonization of a layer from temperature and soak period are shown.

*Работа выполнена по гранту Губернатора Кемеровской области
для поддержки молодых ученых докторов наук*

Для выполнения рабочего слоя футеровки сталеразливочных ковшей в настоящее время широкое распространение получили углеродсодержащие огнеупоры. Наиболее высокий комплекс эксплуатационных свойств показывают периклазоуглеродистые (ПУ) и алюмопериклазоуглеродистые (АПУ) огнеупоры. Весьма часто с применением этих огнеупоров выполняют комбинированную футеровку сталеразливочных ковшей, в которой шлаковый пояс – ПУ, стены и дно – АПУ [1, 2]. АПУ огнеупоры по сравнению с ПУ имеют ряд преимуществ. В частности, в связи с применением в необожженных АПУ огнеупорах некоторого количества MgO при нагреве наблюдается шпинелеобразование и расширение огнеупора, которое способствует общему уплотнению футеровки и повышению ее стойкости [3].

По данным различных исследований одними из основных причин разрушения АПУ и ПУ ковшевых футеровок являются: окисление углерода, эрозия и отслоение обезуглероженного слоя [2]. Характерно, что обезуглероживание углеродсодержащих ковшевых футеровок происходит не только во время транспортирования жидкой стали, внепечной обработки и разлива, но и на стадии разогрева футеровки перед приемом расплава [4 – 6]. Наиболее

интенсивно обезуглероживание огнеупоров происходит при первом разогреве новой футеровки, поскольку на ее поверхности отсутствуют остатки металла и шлака, препятствующие доступу газов-окислителей.

Анализ специальной технической литературы показывает, что сведения по кинетике обезуглероживания алюмопериклазоуглеродистых ковшевых огнеупоров фактически полностью отсутствуют, в то время как данные по влиянию на нее температурно-временного фактора и состава атмосферы необходимы при разработке малообезуглероживающих температурных и тепловых режимов предплавочного разогрева футеровок сталеразливочных ковшей.

В настоящей работе проведено исследование влияния различных факторов на обезуглероживание ковшевых огнеупоров ООО «Группа Магнезит» (Dalmond) марки APC-75Н1, содержащих Al_2O_3 – 75 %, MgO – 10 %, C – 7 %.

Образцы для исследований в виде параллелепипедов с размерами в длину 45 – 52 мм, в ширину 21 – 26 мм и в высоту 20 – 26 мм выпиливали из кирпичей. Нагрев образцов проводили в электрической печи сопротивления СУОЛ-0,25.1/12,5-И1 с нагревателями из карбида кремния в атмосфере воздуха. Образцы нагревали до температур t 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1250 °С и выдерживали при постоянной температуре в течение 1, 2 и 3 ч. Температуру образца непрерывно измеряли хромель-алюмелевой термопарой и многоканальным программным регулятором температур «Термодат 19Е2». Массу образцов до и после эксперимента определяли на весах Vibra AF-220CE. Для установления влияния состава атмосферы провели две серии экспериментов. В первой серии в процессе эксперимента загрузочное окно печи было открыто для свободного доступа атмосферного воздуха. Во второй серии экспериментов образец помещали в трубку из кварцевого стекла, концы которой герметично закрывали пробками. Доступ атмосферного воздуха во внутренне пространство трубки, в котором находился образец, отсутствовал. Количественно интенсивность обезуглероживания огнеупора определяли по глубине обезуглероженного δ слоя в изломе образцов и по потере их массы.

При обработке результатов экспериментальных данных принимали, что зависимость глубины обезуглероженного слоя от времени τ подчиняется закону квадратного корня, который отражает диффузионный механизм обезуглероживания, а константа скорости окисления подчиняется уравнению Аррениуса [6].

На рисунке 1 представлены результаты экспериментальных исследований влияния температурно-временного фактора на обезуглероживание огнеупора в атмосфере воздуха.

Из рисунка 1 видно, что увеличение температуры от 800 до 1200 °С и времени выдержки от 60 до 180 мин приводит к росту глубины обезуглероженного слоя с 2 до 5 мм. При этом повышение температуры интенсифицирует обезуглероживание АПУ огнеупора марки APC-75Н1 в меньшей степени, чем ПУ огнеупоров, исследованных в работе [6]. Этот факт связан с непрерывным расширением АПУ огнеупоров ввиду образования шпинели на рабо-

чей поверхности там, где температура достаточна для реакции. В связи с этим, как было отмечено выше, огнеупор уплотняется, что препятствует проникновению кислорода в слои огнеупора и соответственно выгоранию углерода.

В результате статистической обработки экспериментальных данных для осуществления прогнозных расчетов получена зависимость, связывающая потери массы образца и глубину обезуглероженного слоя, которая представлена на рисунке 2.

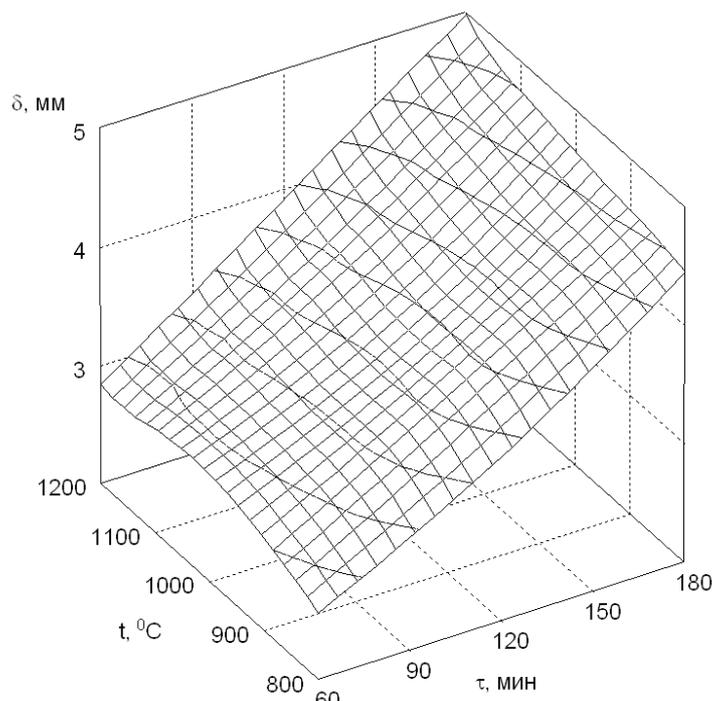


Рисунок 1 – Зависимость глубины обезуглероженного слоя от температуры нагрева и времени выдержки

Для прогнозных расчетов получено соотношение, позволяющее определить толщину обезуглероженного слоя огнеупора в зависимости от температуры и времени:

$$\delta = 0,5119 \exp(-494,0/T) \sqrt{\tau}, \quad (1)$$

где T – температура, К; τ – время выдержки огнеупора при постоянной температуре, мин.

Первая серия экспериментов по нагреву образцов в атмосфере воздуха, содержащей 21 % кислорода, показала, что обезуглероживание алюмопериклазоуглеродистого огнеупора марки DALMOND APC-75H1 происходит достаточно интенсивно. Прогнозные расчеты с применением соотношения (1) показывают, что, в зависимости от режима разогрева, в промышленных условиях огнеупор может обезуглероживаться на 7 – 10 мм.

Вторая серия экспериментов, в которой образцы нагревали в бескислородной атмосфере, показала, что в таких условиях, несмотря на продолжительные выдержки и высокие температуры нагрева, обезуглероживания об-

разцов не происходит. Характерно, что потери массы образцов составили от 0,9 до 1,1 %, это почти на порядок меньше, чем при нагреве в атмосфере воздуха, при этом потери с влагой составляют всего 0,1 % от первоначальной массы огнеупора. Таким образом, разогрев футеровки в безокислительной атмосфере является эффективным способом предотвращения обезуглероживания поверхностного слоя огнеупоров.

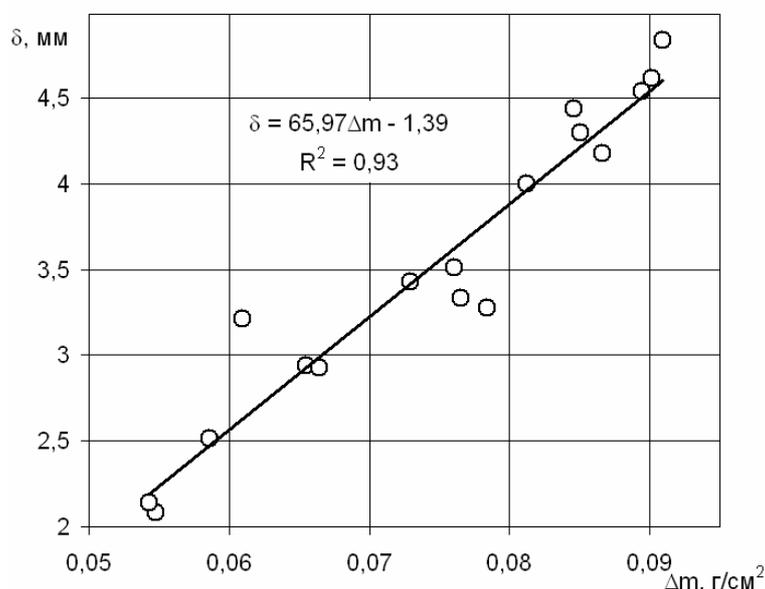


Рисунок 2 – Зависимость глубины обезуглероженного слоя от потерь массы огнеупора

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.П. Маргишвили, А.В. Можжерин, В.А. Мусевич, А.П. Дука и др. Оптимизация дизайна футеровки сталеразливочных ковшей ОАО «Северский трубный завод» поставок ОАО БКО и повышение ее стойкости // Новые огнеупоры. 2011. № 11. С. 15 – 21.
2. Э.А. Вислогузова, И.Д. Кащеев, Л.В. Серова, М.А. Хороших Корундо-периклазоуглеродистые огнеупоры для футеровки сталеразливочных ковшей // Новые огнеупоры. 2010. № 1. С. 7 – 10.
3. Н.К. Гош, М.К. Кужур, П.К. Ройчоудхури и др. Увеличение срока службы сталеразливочного ковша, футерованного огнеупорами Mg-C и Al₂O₃-MgO-C // Новые огнеупоры. 2011. № 9. С. 5 – 8.
4. Темлянцев М.В., Матвеев М.В. Обезуглероживание периклазоуглеродистых огнеупоров при тепловой обработке футеровок сталеразливочных ковшей // Metallurg. 2010. № 8. С. 60 – 62.
5. Темлянцев М.В., Матвеев М.В. Исследование обезуглероживания периклазоуглеродистых огнеупоров при разогреве футеровок сталеразливочных ковшей перед приемом расплава // Изв. вузов. Черная металлургия. 2010. № 10. С. 38 – 40.

6. Темлянцев М.В., Матвеев М.В. Темлянцева Е.Н. Исследование влияния различных факторов на обезуглероживание периклазоуглеродистых ковшовых огнеупоров // Изв. вузов. Чер. металлургия. 2011. № 10. С.32 – 36.

УДК 621.74

В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, О.Г. Приходько, В.Н. Алхимов, П.А. Кемаев
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

ВЛИЯНИЕ ШИХТОВОЙ ЗАГОТОВКИ С ЭФФЕКТОМ ТЕРМОВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИЛУМИНОВ

В работе на примере литейных алюминиевых сплавов АК7ч и АК12 показана перспектива применения термовременной обработки при изготовлении шихтовых заготовок (переплавов). Использование шихтовой заготовки позволило повысить уровень механических и технологических свойств сплавов в литом состоянии.

In work on an example of foundry aluminum alloys АК7ч and АК12 the prospect of application of thermotime processing is shown at manufacturing charge preparations. Use charge preparations has allowed to raise level of mechanical and technological properties of alloys in a cast condition.

Разработанные в настоящее время теоретические и технологические основы изготовления шихтовых переплавов с мелкозернистой структурой позволяют эффективно регулировать наследственность используемых низкосортных материалов и получать литейные сплавы с требуемыми механическими и служебными свойствами [1, 2]. Шихтовые переплавы должны соответствовать по химическому составу получаемым в дальнейшем литейным сплавам. Приготовленные шихтовые переплавы (шихтовую заготовку) добавляют к основной шихте; в результате структурной наследственности мелкозернистое строение через расплав передается готовому сплаву, что повышает качество отливок. Показано [1, 3], что термовременная обработка (ТВО) расплавов на основе вторичного сырья способствуют снижению негативных наследственных признаков шихты и повышению уровня механических свойств литейных алюминиевых сплавов. Поэтому вполне целесообразным является применение ТВО по оптимальным режимам при обработке шихтовых расплавов.

В данной работе проведено комплексное исследование влияния термовременной обработки (ТВО) шихтовых расплавов на механические и технологические свойства сплавов АК7ч и АК12. В качестве исходных шихтовых материалов использовали вторичное сырье – различные отходы этих сплавов – стружку в брикетах (около 45...50 %); обрезь, мелкий лом песчаноглинистого литья (50...55 %). Материалы расплавляли в печи ИСТ-0,06 и обрабатывали по режимам (при оптимальной температуре T и изотермической выдержке τ), рекомендуемым в [2]: для сплава АК7ч – $T = 950...960$ °С, $\tau = 12...15$ мин; для сплава АК12 – $T = 1130...1150$ °С, $\tau = 10...13$ мин. Перед заливкой расплавы рафинировали хлористым марганцем. Обработанные шихтовые расплавы заливали в металлические изложницы и получали ТВО-шихту (шихтовую заготовку с эффектом ТВО). Кроме того, был опробован вариант дополнительной (после ТВО) обработки расплавов перед заливкой магнитным полем ($B = 0,3...0,4$ Тл) с помощью специального устройства [4]; так получали (ТВО-М)-шихту (шихтовую заготовку с эффектом ТВО и магнитного поля). Структура полученных ТВО-шихты и (ТВО-М)-шихты была мелкозернистая с упорядоченным α -твердым раствором и равномерно распределенной тонкодифференцированной эвтектикой. Слитки шихтовых переплавов затем добавляли к основной шихте, состоящей из вторичного сырья.

В таблице и на рисунке приведены свойства литых сплавов АК7ч и АК12, полученных по следующим вариантам приготовления шихты (при этом в процессе плавки температуры перегрева были стандартные (ТВО не проводилась): 1 – 100 % вторичного сырья; 2 – 50 % вторичного сырья + 50 % ТВО-шихты; 3 – 60 % вторичного сырья + 40 % ТВО-шихты; 4 – 80 % вторичного сырья + 20 % ТВО-шихты; 5 – 100 % ТВО-шихты; 6 – 50 % вторичного сырья + 50 % (ТВО-М)-шихты; 7 – 60 % вторичного сырья + 40 % (ТВО-М)-шихты; 8 – 80 % вторичного сырья + 20 % (ТВО-М)-шихты; 9 – 100 % (ТВО-М)-шихты. Перед заливкой в форму расплавы обрабатывали флюсом «МХЗ».

Таким образом, простым и доступным приемом обработки расплава из низкосортных шихтовых материалов для получения мелкозернистых переплавов (шихтовой заготовки) является ТВО, которая в сочетании с другими способами обработки расплава (рафинирование, электромагнитные воздействия, повышенные скорости охлаждения) способствует получению сплавов заданного качества с экономией чушковых материалов. Следует обратить внимание, что при использовании ТВО для изготовления переплавов необходимо соблюдать ее оптимальные режимы (температуру и время изотермической выдержки) для каждой марки сплава. Рациональное соблюдение данных технологических процедур позволит в полной мере использовать положительное наследственное влияние ТВО на последующих стадиях получения литейных сплавов.

Таблица – Влияние ТВО-шихты на механические свойства сплавов АК7ч и АК12 (средние значения)

Полученный сплав	Вариант шихтовки	Механические свойства		Балл пористости
		σ_B , МПа	δ , %	
АК7ч	1	184...200	2,7...3,6	4-5
	2	222...230	3,9...5,2	2-3
	3	213...220	3,8...4,8	2-3
	4	206...211	3,6...4,3	3
	5	248...260	4,6...5,5	2
	6	229...240	4,4...5,2	2-3
	7	216...225	4,2...5,1	2-3
	8	209...218	3,8...4,6	2-3
	9	258...270	4,9...5,8	1-2
АК12	1	155...167	3,5...4,2	4-5
	2	177...186	5,8...6,7	2-3
	3	170...180	4,9...6,2	2-3
	4	163...174	4,8...5,7	3
	5	197...206	7,0...8,0	2
	6	180...190	6,0...6,9	2-3
	7	176...184	5,2...6,3	2-3
	8	168...179	5,0...5,7	2-3
	9	204...211	7,3...8,1	1-2

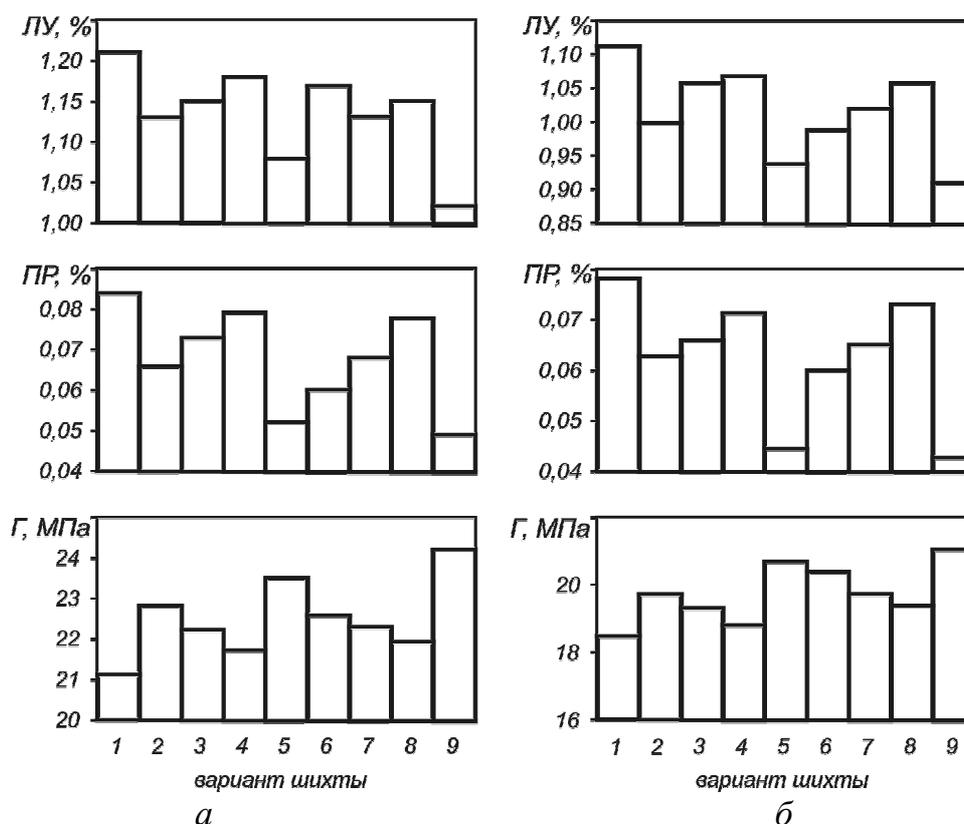


Рисунок – Влияние ТВО-шихты на технологические свойства (ЛУ, ПР, Г) сплавов АК7ч (а) и АК12 (б) (средние значения) в зависимости от вариантов шихты

Выводы: Показано, что применение термовременной обработки при изготовлении шихтовой заготовки из вторичного сырья и ее дальнейшее использование при получении сплавов АК7ч и АК12 позволило повысить механические и технологические свойства последних. Так, использование при плавке добавок (к основной завалке) шихтовой заготовки (от 20 до 100 %) способствовало снижению величин предусадочного расширения и усадки, снижению балла пористости (до 2), повышению уровня герметичности (на 5...13 %), жидкотекучести (на 10...15 %) и механических свойств сплавов: σ_B – на 5...26 % и δ – на 25...100 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитин В.И. Наследственность в литых сплавах / В.И. Никитин, К.В. Никитин. – Москва: Машиностроение-1, 2005. – 510 с.
2. Деев В.Б. Получение герметичных алюминиевых сплавов из вторичных материалов / В.Б. Деев // Монография. – М.: Флинта: Наука, 2006. – 218 с.
3. Ершов Г.С. Высокопрочные алюминиевые сплавы на основе вторичного сырья / Г.С. Ершов, Ю.Б. Бычков. – М.: Металлургия, 1979. – 192 с.
4. Патент РФ на полезную модель № 69072. Устройство для модифицирования сплавов / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, В.А. Дегтярь и др. // Заявка № 2007130320. Приоритет 07 августа 2007 г. Опубл. 10.12.2007 г. Бюл. № 34.

УДК 621.746.552.669.14 (043)

В.П. Антонов, А.А. Усольцев, Н.И. Таран, В.Я. Климов, Н.И. Швидков
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет» г. Новокузнецк

РАСЧЕТ УСЛОВИЙ ЗАЛИВКИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ОХЛАЖДЕНИЕ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ДО ТЕМПЕРАТУРЫ НУЛЕВОЙ ЖИДКОТЕКУЧЕСТИ ПРИ ЗАПОЛНЕНИИ НИЖНЕЙ ЧАСТИ СЛИТКА

С помощью ЭВМ обработаны расчеты условий заливки слитка рельсовой стали через промустройство с литниковой системой.

Calculations of ingot casting conditions of rail steel through the intermediate device with gating system were processed using PC.

Порядок расчета условий заполнения изложницы через промустройство (ПУ) и расчет охлаждения стали в промустройстве и струях, а также выбор параметров ПУ, обеспечивающих поступление первых порций металла на дно изложницы с относительным количеством твердой фазы ε_0 не превышающим

нулевую жидкотекучесть, сводится к определению охлаждающей поверхности ПУ и литниковых каналов, а также количества струй и их диаметра [1].

При заданных параметрах ПУ можно рассчитать величину охлаждения металла в ПУ и струях, обеспечивающую поступление стали с заданным количеством твердой фазы на дно изложницы в начальный момент ее заполнения.

Для этого предлагается программа расчета на ЭВМ условий разливки через промустройство с литниковой системой, обеспечивающих создание температурного градиента по высоте слитка к моменту окончания заполнения изложницы, с учетом нагрева чугунной воронки промустройства в процессе разливки.

Программа составлена на основании уравнений (1 – 23) [1], на алгоритмическом языке TURBOPASCAL 7.0. Подпрограмма расчета изменения температуры чугунной воронки в процессе заливки составлена на основании уравнения теплопроводности Фурье методом конечных разностей

$$cp \frac{dT}{d\tau} = \lambda \frac{d^2 T}{dx^2} \quad (1)$$

Представим уравнение (1) в виде конечных разностей

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{T_i^{\tau+1} - T_i^{\tau}}{\Delta\tau} \quad (2)$$

где $T_i^{\tau+1}$ – температура i -го узла воронки в $(\tau+1)$ время; T_i^{τ} – соответственно, в τ время; $\Delta\tau$ – временной интервал.

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = \frac{T_{i-1}^{\tau} - 2T_i^{\tau} + T_{i+1}^{\tau}}{\Delta x^2} \quad (3)$$

где Δx – расстояние между узлами сечений воронки промустройства.

Подставляя (2) и (3) в (1), получаем:

$$T_i^{\tau+1} = T_i^{\tau} + \frac{\alpha \Delta\tau}{\Delta x^2} [T_{i-1}^{\tau} - 2T_i^{\tau} + T_{i+1}^{\tau}] \quad (4)$$

Решаем (4) при граничных условиях для $i = 1$, соответствующим контакту воронки с металлом:

$$T_i^{\tau+1} = T_i^{\tau} + \frac{\alpha \Delta\tau}{cp} (T_k - T_i^{\tau}) - \frac{\alpha \Delta\tau}{\Delta x^2} (T_i^{\tau} - T_2^{\tau}) \quad (5)$$

где α – коэффициент теплоотдачи от расплавленного металла к поверхности воронки, $\alpha = 2514 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [2], a – коэффициент температуропроводности, $a = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ [3], для $i = n$, соответствующим поверхности контакта воронки с окружающей средой

$$T_n^{\tau+1} = T_n^{\tau} + \frac{\alpha \Delta\tau}{cp} (T_0 - T_n^{\tau}) - \frac{\alpha \Delta\tau}{\Delta x^2} (T_n^{\tau} - T_{n-1}^{\tau}) \quad (6)$$

При начальных условиях $T_i = T_0$, где T_0 – начальная температура вонки, равная 50^0 С.

При решении уравнений (4 – 6) по явной схеме, для сходимости этих уравнений требуется выполнение условия $\frac{1}{2} \leq \frac{a\Delta\tau}{\Delta x^2}$, откуда

$$\Delta x = \sqrt{2a\Delta\tau} \quad (7)$$

При выбранном $\Delta\tau = 1$ с, $\Delta x = 6$ мм, результаты расчета по программе температуры стали по высоте слитка Н, см в процессе заполнения изложницы с интервалом времени $T_{ay} = 15$ с, представлены распечаткой программы:

Распечатка результатов расчета на ЭВМ

```

T1o=1506.0 T1fo=120.2 E1=0.0000
T2o=1501.9 T2fo=111.0 E2=0.0000
T3o=1460.3 T3fo=50.0 E3=0.1574 Tay=1 H=1.1
*****
T1o=1517.8 T1fo=645.9 E1=0.0000
T2o=1515.6 T2fo=744.3 E2=0.0000
T3o=1464.2 T3fo=50.0 E3=0.1063 Tay=15 H=16.7
*****
T1o=1522.1 T1fo=834.4 E1=0.0000
T2o=1520.9 T2fo=1112.7 E2=0.0000
T3o=1466.6 T3fo=50.0 E3=0.0748 Tay=30 H=33.3
*****
T1o=1523.5 T1fo=898.1 E1=0.0000
T2o=1522.9 T2fo=1307.4 E2=0.0000
T3o=1468.4 T3fo=50.0 E3=0.0514 Tay=45 H=50.0
*****
T1o=1524.0 T1fo=919.6 E1=0.0000
T2o=1523.7 T2fo=1410.1 E2=0.0000
T3o=1470.0 T3fo=50.0 E3=0.0310 Tay=60 H=66.7
*****
T1o=1524.2 T1fo=926.9 E1=0.0000
T2o=1524.0 T2fo=1464.2 E2=0.0000
T3o=1471.5 T3fo=50.0 E3=0.0117 Tay=75 H=83.3
*****
T1o=1524.2 T1fo=929.3 E1=0.0000
T2o=1524.1 T2fo=1492.7 E2=0.0000
T3o=1475.2 T3fo=50.0 E3=0.0000 Tay=90 H=100.0
*****
T1o=1524.2 T1fo=930.2 E1=0.0000
T2o=1524.2 T2fo=1507.7 E2=0.0000
T3o=1482.4 T3fo=50.0 E3=0.0000 Tay=105 H=116.7
*****
T1o=1524.2 T1fo=930.4 E1=0.0000
T2o=1524.2 T2fo=1515.5 E2=0.0000
T3o=1489.7 T3fo=50.0 E3=0.0000 Tay=120 H=133.3
*****
T1o=1524.2 T1fo=930.5 E1=0.0000
T2o=1524.2 T2fo=1519.7 E2=0.0000
T3o=1497.1 T3fo=50.0 E3=0.0000 Tay=135 H=150.0
*****
T1o=1524.2 T1fo=930.6 E1=0.0000
T2o=1524.2 T2fo=1521.8 E2=0.0000
T3o=1504.5 T3fo=50.0 E3=0.0000 Tay=150 H=166.7
*****
T1o=1524.2 T1fo=930.6 E1=0.0000
T2o=1524.2 T2fo=1523.0 E2=0.0000
T3o=1512.1 T3fo=50.0 E3=0.0000 Tay=165 H=183.3
*****
T1o=1524.2 T1fo=930.6 E1=0.0000
T2o=1524.2 T2fo=1523.6 E2=0.0000
T3o=1519.6 T3fo=50.0 E3=0.0000 Tay=180 H=200.0

```

T1o=1524.2 T1_fo=930.6 E1=0.0000
T2o=1524.2 T2_fo=1523.8 E2=0.0000
T3o= 1524.2 T3_fo=50.0 E3=0.0000 Tay=189 H=210.0

где $T1_0$ – температура металла при выходе из воронки ПУ [1. рисунок 1] в литниковые каналы, $^{\circ}\text{C}$; $T2_0$ – температура металла на выходе из ПУ, $^{\circ}\text{C}$; $T3_0$ – температура струй при контакте с зеркалом металла в изложнице на уровне H , см в момент времени T_{ay} , с; $T3_f_0$ – начальная температура воронки $^{\circ}\text{C}$; $T1_f_0$ – температура воронки $^{\circ}\text{C}$, в момент времени разливки T_{ay} ; $T2_f_0$ – температура литниковых каналов $^{\circ}\text{C}$, в момент времени разливки T_{ay} ; $E1$, $E2$, $E3$ – относительное количество твердой фазы, образующейся при охлаждении металла в воронке, в литниковых каналах, в изложнице соответственно.

Представленная распечатка результатов расчета дает наглядную картину распределения температуры по высоте слитка, которая может изменяться в зависимости от условий заливки, определяемых параметрами промустройства.

Варьируя в программе диаметр и количество струй (интенсивность охлаждения стали), а также время заполнения изложницы рассчитывается допустимое количество твердой фазы поступающее на дно изложницы, которое не должно превышать ε_0 во избежание появления спаев в нижней части слитка.

Программа позволяет рассчитать параметры нового промустройства (размеры чугунной воронки, высоту, диаметр и количество отверстий шамотного стакана) при заданных условиях разливки (температура металла в ковше, расход металла из ковша, технологическое время разливки, объем изложницы, марка стали).

Блок-схема алгоритма и программа расчета условий разливки через промустройство с литниковой системой обеспечивающих создание температурного градиента по высоте слитка представлены в работе [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таран Н.И., Антонов В.П., Климов В.Я., Швидков Н.И. Методика расчета индивидуального промустройства при разливке рельсовой стали. – Международная научно-практическая конференция. Metallurgia России на рубеже XXI века. Сб. науч. тр. том 1. – Новокузнецк. 2005. – С. 189 – 196.
2. Таран В.П., Крестьянов В.И., Климов В.Я., Антонов В.П. О расчете жидкотекучести металлов и сплавов // Известия вузов. Черная Metallurgia. 1999. № 12. С. 52 – 61.
3. Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливки. – М.: Машиностроение, 1976. – 327 с.
4. Антонов В.П. Исследование особенностей многоструйной разливки стали: дис. канд. техн. наук / В.П. Антонов. – Новокузнецк, СибГИУ, 2000. – 131 с.

М.В. Филиппова, А.В. Бахаев, В.Н. Перетяцько, А.А. Фёдоров
 ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
 университет», г. Новокузнецк

БЕЗОТХОДНАЯ ШТАМПОВКА ШЕСТЕРНИ

В работе представлены результаты штамповки шестерни из шара и цилиндрической заготовки. При штамповке из шара сокращаются две операции и уменьшается расход металла. Можно рекомендовать шаровую заготовку для технологических процессов безоблойной штамповки.

In the article outcomes drop forging of gears from cylinder and sphere of storing. By forging from balls to decrease too operation and to decrease metal consumption. It is possible to recommend sphere of storing to processing burrls of forging.

Согласно технологической инструкции процесса горячей облойной штамповки шестерни 12.37.118 в условиях кузнечного цеха ООО «Завод по ремонту металлургического оборудования» исходной заготовкой является прутки круглого сечения диаметром 95 мм (ГОСТ 2590-88) длиной 97 мм. Шестерня изготавливается из марки стали 18ХГТ (ГОСТ 4543-71). Чертеж поковки шестерни представлен на рисунке 1.

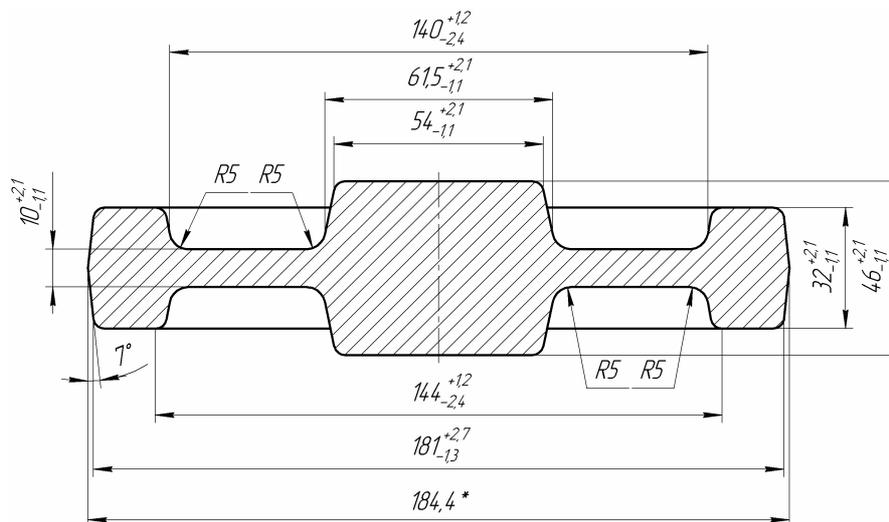


Рисунок 1 – Чертеж поковки шестерни 12.37.118

Резка заготовки осуществляется на пресс-ножницах ScPK 1800.1 усилием 750 тн. Нагрев заготовки производится в индукционном нагревателе ИК1 750/1 до температуры 1050-1100°C. Штамповка шестерни 12.37.118 осуществляется на кривошипном горячештамповочном прессе АК КБ8544 усилием 25

МН. В предварительном ручье штампа заготовка осаживается в торец до высоты 61 мм, в окончательном ручье формируется поковка.

По цепному транспортеру К04.074.8.2-51-001 шестерня передается к кривошипному прессу КБ8534 усилием 2500 кН, на котором производится операция обрезки облоя, после чего готовая поковка складывается в контейнер.

Согласно технологического процесса облойной штамповки шестерни 12.37.118 масса заготовки составляет 5,4 кг, масса поковки – 4,75 кг и масса заусенца 0,65 кг.

Уменьшение расхода металла при штамповке шестерни возможно путем разработки новой технологии безоблойной штамповки. По результатам предварительных исследований в качестве заготовки для штамповки шестерни в закрытом штампе предложена шаровая заготовка [1,2]. Вследствие этого, был спроектирован и изготовлен закрытый штамп для безоблойной штамповки.

С целью разработки технологии безоблойной штамповки шестерни в закрытом штампе было проведено компьютерное моделирование нового технологического процесса [3,4].

Компьютерное моделирование проводили с использованием пакета программ Deform. Условия моделирования: исходной заготовкой является шар диаметром 105 мм из стали 18ХГТ. Деформация заготовки производится на кривошипном прессе в закрытом штампе при температуре 1150°С при коэффициенте трения 0,4.

Результаты трех последовательных этапов формоизменения шара при штамповке шестерни, полученных по результатам компьютерного моделирования, приведены на рисунке 2. Линии внутри поковки характеризуют величину интенсивности деформаций согласно масштабной шкале.

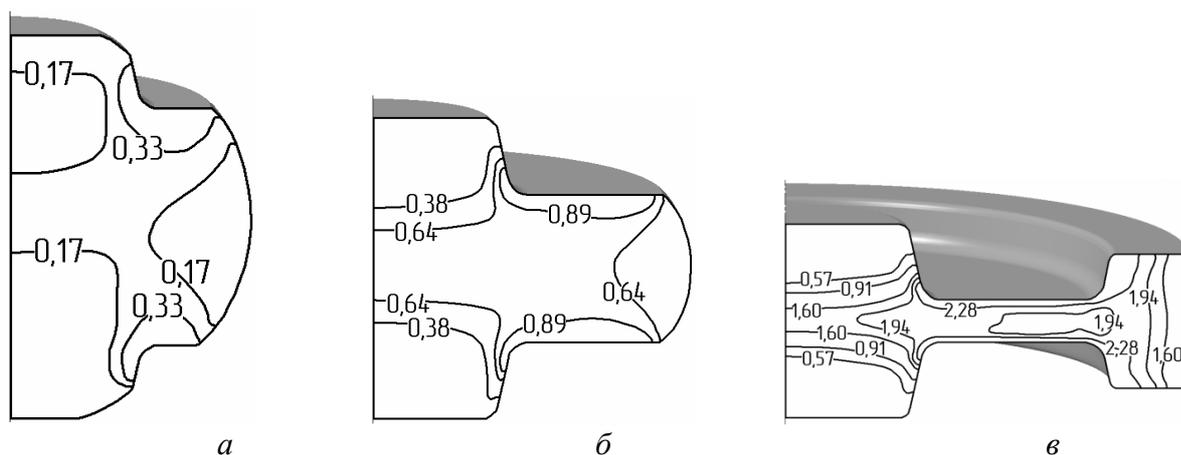


Рисунок 2 – Результаты трех последовательных этапа формоизменения шара при штамповке шестерни

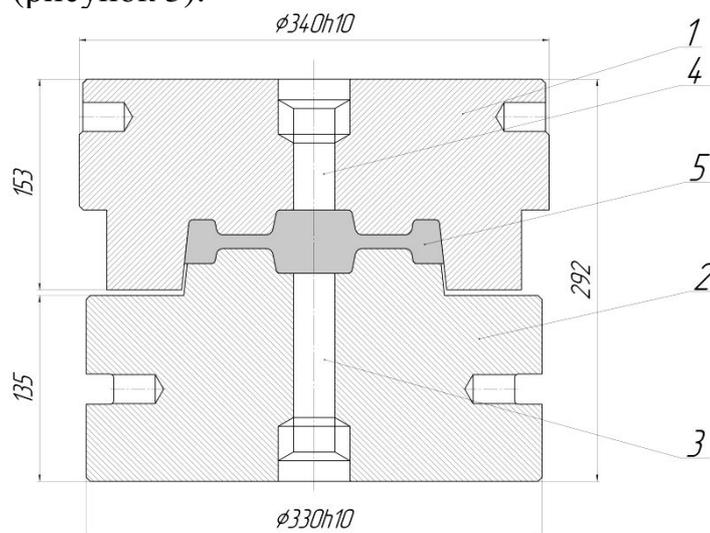
При штамповке шестерни из шаровой заготовки течение металла при заполнении штампа происходит без образования зажимов и трещин. Штамп

полностью заполняется металлом, незаполненных углов не обнаружено. Максимальная величина усилия при штамповке шестерни составляет 21 МН.

Таким образом, компьютерное моделирование показало возможность штамповке шестерни в закрытом штампе на существующем оборудовании.

Промышленное производство безоблойной штамповке шестерни 12.37.118 осуществлялось из шаровой заготовки диаметром 105 мм. Шары, используемые в качестве заготовки, были получены поперечно-винтовой прокаткой на шаропрокатном стане ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат».

Нагрев шара производился в индукционном нагревателе ИК1 750/1 с темпом выдачи заготовок, установленным технологическим процессом для цилиндра. Контроль температуры нагрева осуществлялся оптическим пирометром ГОСТ 28243-96. В процессе нагрева шаровая заготовка легко перемещалась качением по направляющим трубкам индуктора. Нагрев осуществлялся равномерно по всей поверхности заготовки. Перемещение шаров качением в индукционном нагревателе исключает возможность заклинивания заготовок в рабочем пространстве индуктора, а также способствует уменьшению износа направляющих трубок. Нагретые шаровые заготовки подавали на кривошипный горячештамповочный пресс АК КБ8544 усилием 25000 кН и штамповали в чистовом ручье (рисунок 3).



1 – пуансон, 2 – матрица, 3,4 – выталкиватель, 5 – поковка

Рисунок 3 – Конструкция штампа для безоблойной штамповки шестерни

Процесс безоблойной штамповки шестерни показал, что штамп заполняется металлом полностью, вытеснение металла в заусенец не происходит, зажимы, разрушения и другие дефекты отсутствуют. Возможность штамповки поковки без предварительной осадки обусловлена конструкцией чистового ручья штампа, в котором точность центрирования шаровой заготовки осуществляется за счет полости, в которой формируется ступица шестерни. Целесообразность исключения из технологического процесса операции осадки заключается в том, что этот ручей применяется для того чтобы сбить окалину, обеспечить осаженной заготовкой хорошую фиксацию в последующем ручье.

Но на шаровой заготовке, имеющей меньшую площадь поверхности по сравнению с цилиндрической заготовкой, образуется меньше окалины, поэтому при штамповке можно исключить ручей для осадки.

На рисунке 4 *а*, *б* приведены операционные эскизы горячей штамповки шестерни 12.37.118 с облоем из цилиндрической заготовки (4 *а*), и безоблойная штамповка шестерни из шаровой заготовки (4 *б*).

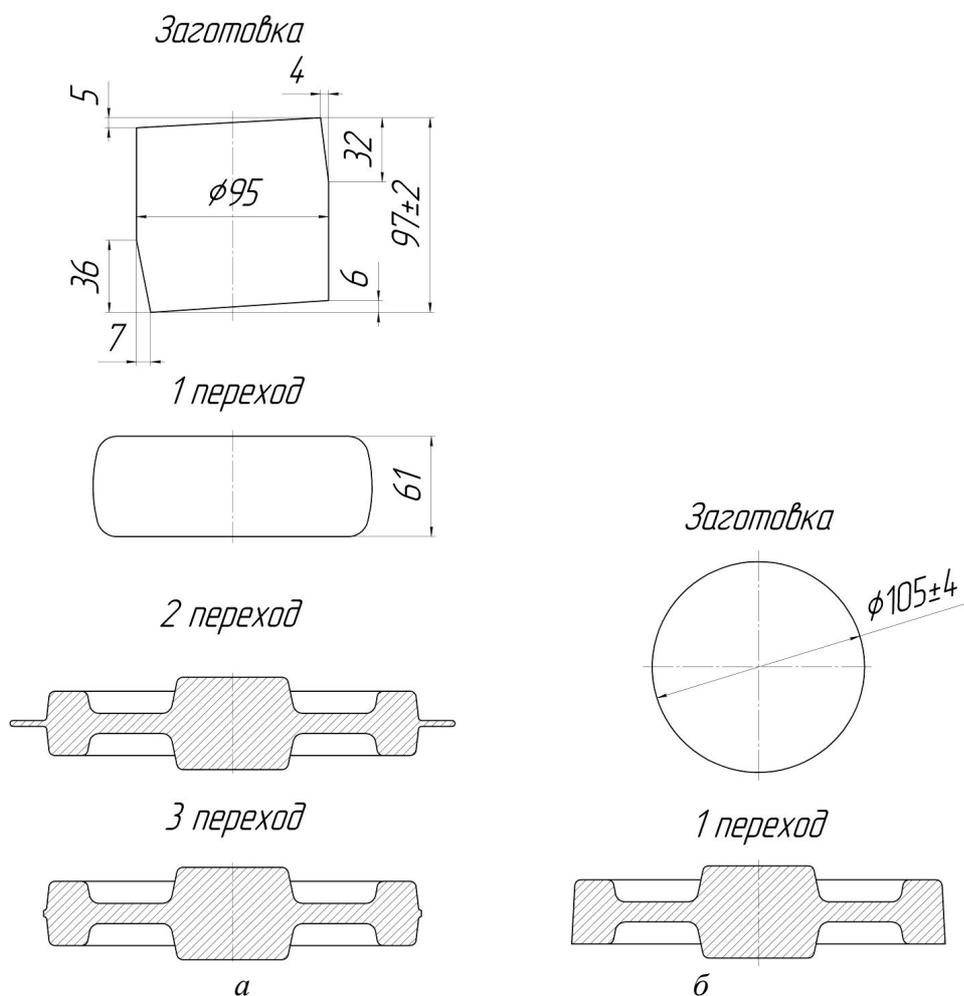


Рисунок 4 – Операционные эскизы штамповки шестерни

Как видно из рисунка, при штамповке из шаровой заготовки количество операций уменьшается на два перехода. Пресс для обрезки облоя усилием 2500 кН не используется в технологическом процессе штамповки шестерни.

Расчеты показали, что при штамповке шестерни 12.37.118 безоблойной штамповкой из шаровой заготовки экономия металла на одной поковке составляет 0,65 кг по сравнению с получением этой же поковки горячей объемной штамповкой с облоем. При годовом производстве поковок 100 тыс. штук, годовая экономия металла составит 65 тонн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перетяцько В.Н.. Штамповки осесимметричных поковок / А.В. Бахаев, М.В. Филиппова, С.А. Вахман // Известия вузов. Черная металлургия. 2009. №4. С.21 – 22
2. Мошаров А.А. Применение поперечно – винтовой прокатки в кузнечно – штамповочном производстве / А.А. Мошаров // Кузнечно – штамповочное производство. 1969. № 12. С. 38 – 39.
3. Филиппова М.В. Моделирование штамповки осесимметричных поковок / М.В. Филиппова, В.Н. Перетяцько, А.В. Бахаев // Известия вузов. Черная металлургия. 2010. №4. С. 27 – 29.
4. Филиппова М.В. Моделирование штамповки осесимметричных поковок / М.В. Филиппова, В.Н. Перетяцько, А.В. Бахаев, А.А. Федоров // Известия вузов. Черная металлургия. 2011. №10. С.27 – 29.

УДК 621.791

В.М. Шурупов, Н.А. Козырев, В.Ф. Игушев

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет» г. Новокузнецк

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ БАШМАКА СКОЛЬЖЕНИЯ КОМБАЙНА KSW 460

В работе разработана и освоена технология восстановления башмака скольжения, который подвергается ударным нагрузкам на нижнюю плоскость и сбоку и истиранию металла по металлу по нижней плоскости. В качестве наплавочных материалов предложены электроды для ручной дуговой сварки ОЗН-6, НИИ-48Г и ОЗЛ-6.

We designed and developed technology for recovery shoe slip, which is subject to shock loads on the lower plane and the side and wear of metal on metal on the lower plane. As the surfacing materials proposed electrodes for manual welding OZN-6, SRI 48g and OZL-6.

Биметаллические башмаки, изготовленные с помощью наплавки, обладают рядом преимуществ, обусловленных тем, что высокие требования, предъявляемые к материалам башмаков, относятся в основном к их рабочему слою, а материал корпуса башмака должен обладать высокой прочностью и ударной вязкостью.

Башмаки скольжения являются деталью угольного комбайна KSW 460 (рисунок 1). В процессе эксплуатации они подвергаются ударным нагрузкам на нижнюю плоскость и сбоку и истиранию металла по металлу по нижней

плоскости (нижняя плоскость показана сверху). Деталь изготовлена из стали 20Х2Н4.

Сталь 20Х2Н4 среднелегированная поставляется после термообработки – нормализации с отпуском. Термическая обработка обеспечивает не только хорошие прочностные характеристики, но и высокие пластичность, вязкость и стойкость против хрупкого разрушения. Башмак из стали 20Х2Н4 выходил из строя по причине износа через 2-3 месяца эксплуатации. После износа поверхности башмак восстанавливают наплавкой.

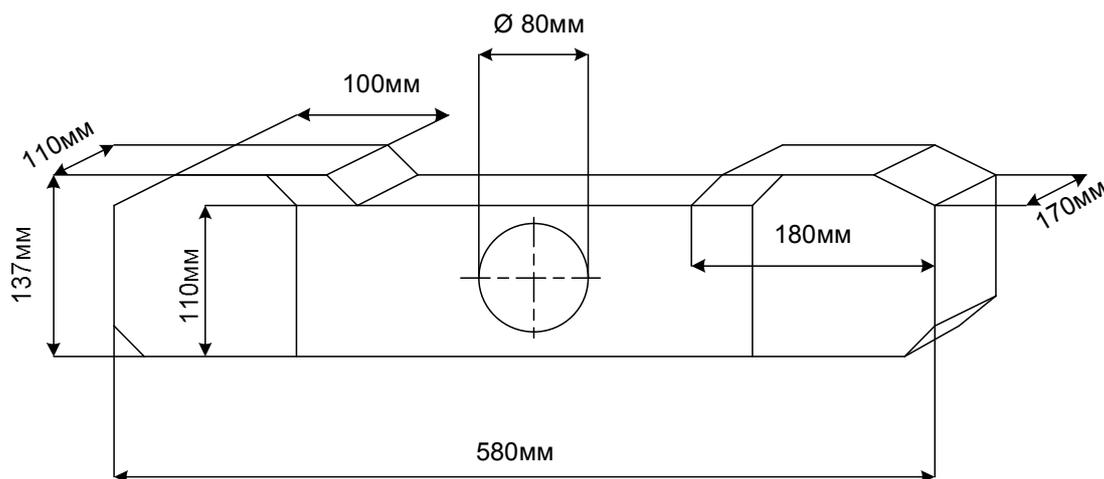


Рисунок 1 – Общий вид башмака

На предприятии применялась технология упрочнения башмака наплавкой электродами Т-590. По базовой технологии на изношенный основной металл наплавлялся подслоем электродами УОНИ 13/55, затем рабочий слой электродами Т-590. Металл, наплавленный электродами Т-590, это высокохромистый чугун, склонен к трещинообразованию. Наплавленный металл имеет высокую твердость – HRC 58-62, структуру мартенсит и карбиды хрома. Наплавленный металл имеет высокую износостойкость в условиях истирания металла по металлу и абразивного истирания, но имеет пониженное сопротивление ударам. Стойкость наплавленных башмаков немного повысилась. Анализ причин выхода наплавленных башмаков из строя показал, что деталь выходит из строя не только по причине износа, но чаще по причине выкрашивания металла. Выкрашивание башмака часто начинается сбоку вследствие удара башмака о другие детали.

В настоящей работе были опробованы различные сварочные материалы для наплавки башмаков. При выборе сварочных материалов исходили из следующих предпосылок: верхний слой башмака, работающий на истирание металла по металлу и подвергающийся ударам должен иметь высокую твердость, износостойкость и не выкрашиваться при ударных нагрузках. Нижняя часть наплавленного слоя должна обладать повышенной прочностью и высокой ударной вязкостью.

Значительный эффект был достигнут при использовании процесса износостойкой наплавки башмаков угольного комбайна электродами с основ-

ным покрытием марки ОЗН-6. При плавлении данных электродов получается металл с повышенным содержанием углерода и бора следующего химического состава: С=(0,8-1,0)%, Мn=(2,1-3,1)%, Si=(3,2-4,2)%, Cr=(3,8-5,0)%, В=(0,8-1,0)%, Р≤0,03%, S≤0,02%. Наплавленный металл имеет повышенную твердость и износостойкость. Твердость наплавленного металла изменялась в пределах HRC 53-55. Повышенная стойкость наплавленного металла против износа при трении металла по металлу и против выкрашивания связана с наличием в металле прочных карбоборидов хрома и структурой металла после наплавки. Наплавленный металл имел следующую структуру: мартенсит, остаточный аустенит и карбобориды хрома.

Электродами ОЗН-6 наплавливали слой небольшой толщины (6 - 8) мм. При большей толщине наплавленного слоя в металле возможно образование холодных трещин.

Общая толщина наплавленного слоя составляла 27 – 28 мм. На основной металл из стали 20Х2Н4 наплавливали подслоу из низкоуглеродистой стали электродами марки УОНИ 13/45. На подслоу наплавливали заполняющий слой переменного состава толщиной 14 – 16мм. Заполняющий слой является переходным от низкоуглеродистого металла до наплавленного. Заполняющий слой металла должен быть пластичным, иметь высокую прочность и ударную вязкость. Данным требованиям отвечает высоколегированный металл с аустенитно-ферритной структурой. Желательно чтобы степень легирования металла постепенно увеличивалась от подслоя из низкоуглеродистого металла к наплавленному износостойкому слою.

Хорошие результаты были получены при использовании следующих сварочных материалов. На подслоу наплавливали металл электродами марки НИИ-48Г типа Э-10Х20Н9Г6С. Данные электроды рекомендуются для сварки разнородных сталей (низкоуглеродистых и низколегированных с хромоникелевыми сталями). Следующий слой наплавливали электродами марки ОЗЛ-6 марки Э-10Х25Н13Г2. Данные электроды дают наплавленный металл с аустенитно-ферритной структурой, который имеет высокую прочность $\sigma_g \geq 540$ МПа и ударную вязкость $KCU \geq 88$ Дж/см². Заполняющий слой наплавливали вышеназванными электродами совместно с механизированной сваркой в защитном газе СО₂ проволокой Св-08Г2С. Схема наплавки приведена на рисунке 2.

Предлагаемая технология восстановления наплавкой позволила избежать выкрашивания, а срок службы увеличился в 1, 5 раза, по сравнению ранее предлагаемой технологией наплавки.

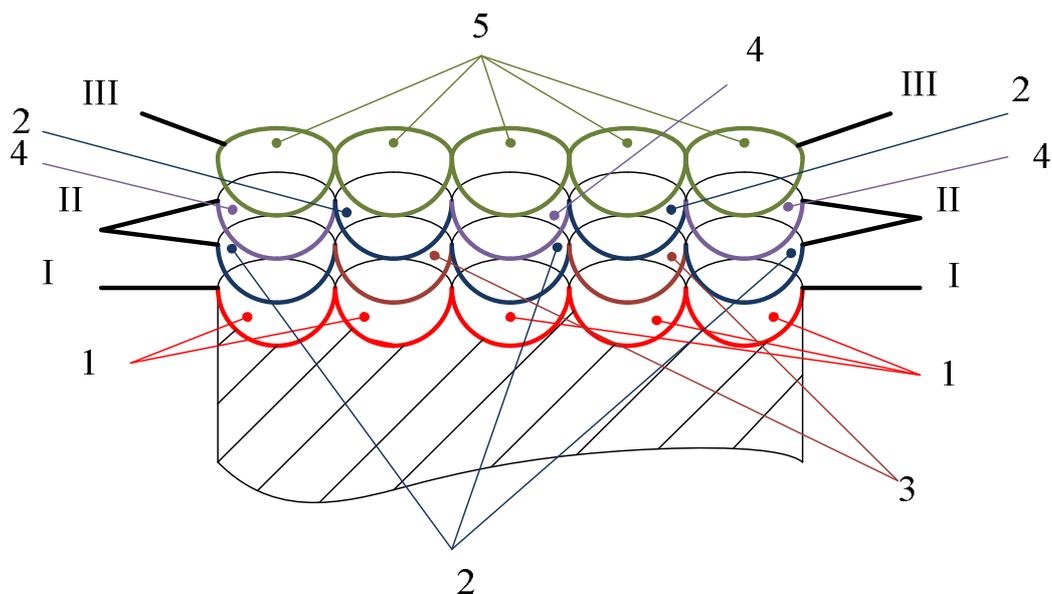


Рисунок 2 – Схема последовательности наложения валиков на башмак следующими сварочными материалами: I – подслоя, 1 – электроды УОНИ 13/45; II – заполняющий слой, 2 – Св - 08Г2С в СО₂; 3 – электроды НИИ-48Г; 4 – электроды ОЗЛ-6; III – износостойкий слой, 5 - электроды ОЗН-6

УДК 621.791.92

Н.Н. Малушин

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

КОМПЛЕКСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ОСНОВАННЫЕ НА ПРИМЕНЕНИИ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ

В работе рассмотрены комплексные технологии упрочнения деталей металлургического оборудования с применением в качестве базовой технологии плазменной наплавки.

In work complex technologies of hardening of details of the metallurgical equipment with application as base technology plasma welding are considered.

Большое количество деталей машин и механизмов металлургического оборудования выходит из строя в процессе эксплуатации вследствие истирания, ударных нагрузок, эрозии и т. д. Современная наука и техника располагают различными методами восстановления и упрочнения деталей для повышения срока их службы. Одним из методов восстановления и упрочнения деталей машин и механизмов является наплавка.

В своем докладе Б.Е. Патон на Международной конференции «Сварка и родственные процессы – в XXI век» высоко оценил роль и значение наплавки в сварочном производстве, отметив, что: «Можно привести немало примеров использования способов сварки плавлением для получения особо износостойких изделий. Это направление в дальнейшем получит должное развитие. ... Наплавка является одной из важнейших составных частей сварочного производства – из общего объема сварочных материалов для наплавки используется 8...10% электродов и сплошных проволок, до 30% порошковых проволок, практически все спеченные и порошковые ленты. В общих объемах наплавочных работ весьма велика доля восстановительной наплавки – 75- 80%. Доминируют в наплавочных работах дуговые способы наплавки. Обобщение публикаций за последние годы позволяет сделать вывод о важности расширения сферы применения изготовительной наплавки» [1].

Для создания прочных и долговечных деталей кроме наплавки все шире в технике находят применение и другие способы повышения прочности поверхностных слоев деталей: наклеп, термическая и термоциклическая обработка, диффузионные и гальванические покрытия, металлизация, напыление, поверхностное легирование и др. Наиболее прогрессивно, на наш взгляд, комбинированное использование различных процессов упрочняющих технологий, что позволяет в наиболее полной степени удовлетворять запросы практики.

В последние годы повышенный интерес среди способов упрочнения вызывает плазменная наплавка. Резкое расширение объема и областей применения плазменной наплавки за последние годы обусловлено повышением качества упрочненных деталей и их высокой эксплуатационной стойкостью.

Именно плазменная наплавка может стать основой применения комплексных упрочняющих технологий при изготовлении различных деталей машин и механизмов металлургического оборудования. В зависимости от условий эксплуатации поверхностного рабочего слоя его можно наносить плазменной наплавкой материалом практически любого химического состава, требуемой толщины и свойств. Можно улучшить служебные характеристики наплавленного металла, применив для этого дополнительно другие упрочняющие технологии такие, как, термообработка, термомеханическая обработка, химико-термическая обработка, наклеп, ультразвуковая упрочняющая обработка и др. Сочетание процессов плазменной наплавки и других способов упрочнения открывает широкие возможности для повышения стойкости и работоспособности наплавленных деталей металлургического оборудования.

Выбор плазменной наплавки как базового способа нанесения износостойких покрытий с целью изготовления новых и восстановления изношенных деталей объясняется рядом преимуществ перед другими способами наплавки: такими, как, высокая производительность, широкая возможность легирования наплавленного металла, возможность применения различных наплавочных металлов. Особенностью сжатой дуги, как источника тепла, явля-

ется то, что ее тепловые и газодинамические характеристики могут легко регулироваться в широких пределах. Использование сжатой дуги обратной полярности позволяет устранить трудоемкие, усложняющие технологический процесс наплавки операции по предварительной очистке поверхности изделия. Очистка наплавляемой поверхности от загрязнений происходит в этом случае непосредственно в процессе наплавки за счет эффекта катодного распыления, чем обеспечиваются необходимые условия смачиваемости поверхности изделия наплавляемым металлом и бездефектное формирование наплавленного слоя. При плазменной наплавке на обратной полярности достигается также меньшее разбавление наплавляемого металла основным.

Наиболее эффективно для решения ряда технологических задач при наплавке тел вращения (роликов, прокатных валков, валов) применение процесса плазменной наплавки на обратной полярности в защитно-легирующей среде азота с нетоковедущей присадочной порошковой проволокой. Использование азота в качестве защитного газа по сравнению с аргоном позволяет не только снизить затраты на наплавку, но и эффективно легировать наплавленный металл азотом из газовой фазы непосредственно в процессе наплавки, что существенно повышает его твердость и износостойкость. Предотвращение образования пор в наплавленном металле достигается введением в порошковую проволоку элементов, имеющих большее сродство к азоту и связывающих его в стойкие нитриды.

Для плазменной наплавки нетоковедущей порошковой проволокой была использована установка, скомпонованная из серийно выпускаемого оборудования, состоящая из манипулятора, задней бабки, модернизированного аппарата А-384 и пульта управления. Источником питания служит выпрямитель аппарата АПР-401У4. В качестве плазмотрона использован плазмотрон, разработанный сотрудниками кафедры и успешно зарекомендовавший себя в эксплуатации [2].

Отмеченные нами особенности формирования наплавленного металла в защитно-легирующей среде азота привели к разработке комплексной технологии упрочнения плазменной наплавкой и последующей химико-термической обработкой. Процесс азотирования достаточно широко применяется в различных отраслях промышленности и имеет определенные преимущества перед другими способами упрочнения тонкого поверхностного слоя, однако глубина азотированного слоя с микротвердостью 900-1200 НВ обычно не превышает величину 0,4-0,6 мм.

В результате проведенных исследований разработана комплексная технология упрочнения деталей металлургического оборудования, состоящая из плазменной наплавки активного поверхностного слоя и последующего его азотирования. Для наплавки разработана порошковая проволока, обеспечивающая химический состав наплавленного металла близкий к составу стали 38ХМЮАТ. Комплексное легирование наплавленного металла хромом, молибденом, ванадием и повышенным содержанием титана и алюминия позволило получить повышенную глубину и микротвердость азотированного слоя.

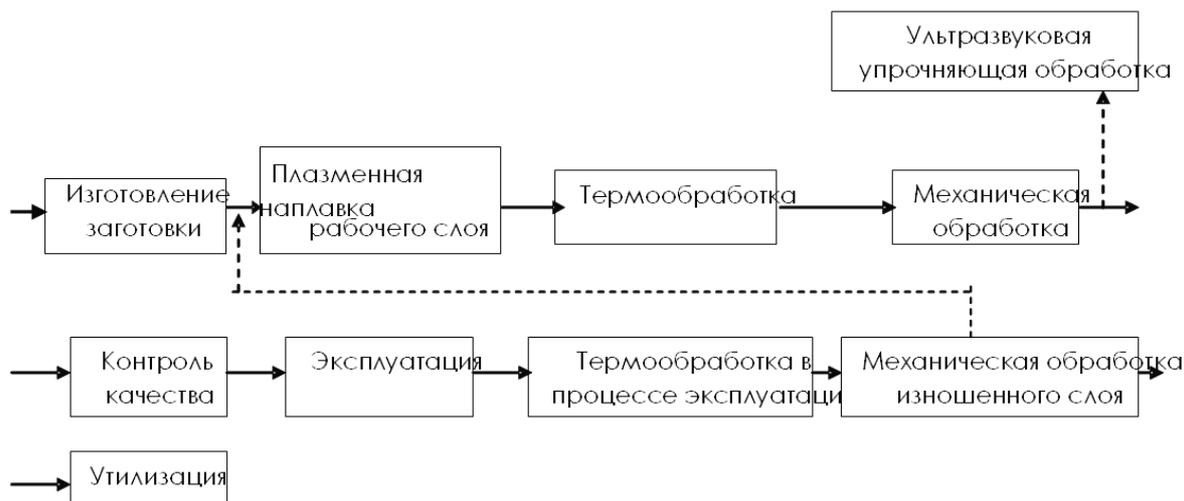
После азотирования наплавленного металла, получаемого разработанной порошковой проволокой, глубина азотированного слоя составила 0,6-0,8 мм при твердости $H_{200} = 1500-1200$ МПа против соответственно $H_{200} = 1250-1100$ МПа и 0,3-0,4 мм у стали 38ХМЮА, обычно применяемой для азотирования, а также повысить износостойкость и коррозионную стойкость поверхностного слоя. Наплавленные и азотированные детали (ролики линии правки) при промышленных испытаниях показали высокую работоспособность (увеличение произошло до 1,5 раз), что указывает на эффективность комплексного применения плазменной наплавки с последующим азотированием.

Теоретические подходы и результаты экспериментальных исследований по применению более сложного варианта комплексных технологий упрочнения были реализованы нами при разработке нового технологического процесса изготовления наплавленных рабочих валков холодной прокатки. Рабочие валки холодной прокатки в процессе эксплуатации подвергаются значительным статическим и динамическим нагрузкам. Материал рабочих валков и технология их изготовления должны обеспечивать соответствие требованиям ГОСТ 3541-74: твердость бочек 95-102 HSD и шеек 30-55 HSD; глубина активного слоя должна составлять не менее 5% радиуса бочки; валки должны иметь высокую износостойкость; высокое качество поверхности после обработки (валки перед эксплуатацией полируют, поэтому на поверхности недопустимы любые дефекты - мелкие трещины и единичные поры); оптимальное распределение и минимальную величину остаточных напряжений по всему сечению валка. Высокие требования, предъявляемые к качеству и твердости поверхностного слоя, вызывают необходимость применения, кроме плазменной наплавки, дополнительных упрочняющих технологий. Схема технологического процесса изготовления наплавленных рабочих валков холодной прокатки с использованием комплексных технологий представлена на рисунке. Основными операциями предлагаемого технологического процесса являются: изготовление заготовки под наплавку из низколегированной стали типа стали 30ХГСА; плазменная наплавка активного рабочего слоя теплостойкими сталями высокой твердости; термическая обработка наплавленных деталей в виде 3-4-х кратного отпуска при температуре 560-580 °С; окончательная механическая обработка; контроль качества; эксплуатация и при необходимости дополнительная термообработка для восстановления усталостной прочности в процессе эксплуатации; удаление изношенного слоя и при возможности повторная наплавка; утилизация при невозможности повторной наплавки. При необходимости возможны дополнительные операции в виде азотирования и ультразвуковой упрочняющей обработки наплавленного слоя.

Как видно из технологической схемы, базовой технологией является плазменная наплавка теплостойкими сталями высокой твердости (типа Р18, Р6М5, Р2М8), для реализации которой были разработаны новые способы наплавки, позволяющие получать наплавленный металл без трещин и в закален-

ном состоянии. Способы многослойной наплавки защищены А.с. СССР № 627717 и А.с. СССР №1478523.

Улучшить свойства наплавленного высоколегированного металла, а также обеспечить благоприятное напряженное состояние позволяет применение дополнительно после наплавки высокотемпературного отпуска. Так, твердость металла после наплавки составляет HRC 52-57, а после отпуска на вторичную твердость достигает HRC 62-64, что соответствует 95-102 HSD.



→ - основные операции, - - →- дополнительные операции

Рисунок – Комплексная технология изготовительной плазменной наплавки рабочих валков холодной прокатки

Применив дополнительно после наплавки ультразвуковую поверхностную упрочняющую обработку, можно повысить твердость до HRC 64-66. Резервы повышения качества деталей, наплавленных теплостойкими сталями высокой твердости, заложены также в процессе их эксплуатации путем применения дополнительного высокотемпературного отпуска. Применение высокотемпературного отпуска в процессе эксплуатации наплавленных валков холодной прокатки приводит пластически деформированный металл в более устойчивое структурное состояние, к тому же за счет явления рекристаллизации полностью снимается наклеп зоны сплавления основного металла с наплавленным и восстанавливается его усталостная прочность до первоначальных значений. При этом стойкость валков возрастает. Способ восстановления эксплуатационных свойств валков станов холодной прокатки защищен А.с. СССР №11866663.

По предложенной схеме реализована и прошла промышленные испытания технология изготовления рабочих валков холодной прокатки с применением плазменной наплавки и дополнительных упрочняющих процессов. Опытно-промышленные партии наплавленных валков при испытаниях показали повышенную (в 1.5-2.0 раза выше по сравнению с серийными валками) износостойкость. Повышение износостойкости наплавленных валков можно

объяснить наличием в структуре мелкодисперсных карбидов M_6C , MC и сжимающих напряжений поверхностном слое.

Выводы. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований был разработан ряд комплексных упрочняющих технологий для деталей металлургического оборудования на базе технологии плазменной наплавки, которые в процессе опытно – промышленных испытаний показали свою перспективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патон Б.Е. Проблемы сварки на рубеже веков// Сварщик.1999. №1, С. 2, 3.
2. Малушин Н.Н.Повышение качества и долговечности рабочих валков станов холодной прокатки плазменной наплавкой теплостойкими сталями.- Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано - до макроуровня. В 2ч. Ч.1 материалы 13-й Международной научно- практической конференции. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – С. 203 – 209.

**ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ
И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

УДК 661.665'685

И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Л.С. Ширяева,
М.А. Терентьева

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

КИНЕТИКА И МЕХАНИЗМ РОСТА НАНОЧАСТИЦ ТУГОПЛАВКИХ СОЕДИНЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЛАЗМЕННОГО СИНТЕЗА

Исследованы синтез и эволюция дисперсности нанопорошков боридов и карбонитридов ванадия и хрома в условиях плазменного потока азота в области температур 5400 – (2600 – 2000) К. Установлены количественные закономерности и предложен механизм, описывающие процессы укрупнения нанопорошков. Получены температурные зависимости для среднего размера частиц.

The synthesis and evolution of dispersity nanopowders borides and carbonitrides of vanadium and chromium in the plasma stream of nitrogen are investigated.

Введение

Сопоставление различных технологий получения порошков тугоплавких боридов и карбидов свидетельствует о том, что для достижения наноуровня в первую очередь востребованы технологии, основанные на применении высококонцентрированных энергетических потоков для газификации сырья и формирования целевого продукта при объемной конденсации из газовой фазы. Среди подобных технологий плазменный синтез, обеспечивая результаты, качественно сопоставимые с достигаемыми, например, при лазерном и электронно-лучевом воздействиях, отличается сравнительной простотой реализации и является из данной группы способов наиболее изученным и конкурентоспособным. В течение последних 15 лет все зарубежные фирмы, заявившие о себе как потенциальных поставщиках нанопорошков тугоплавких боридов и карбидов – «Nanostructured & Amorphous Materials, Inc.» (США), «Hefei Kaier Nanotechnology & Development Ltd Co» (Китай), «NEOMAT CO» (Латвия), «PlasmaChemGmbH» (Германия) – осуществляют их производство на основе плазменных процессов.

Процессы плазменного синтеза условно можно подразделить на три стадии: 1) эволюция исходного сырья, включающая его движение в потоке газа – теплоносителя, нагрев и фазовые переходы; 2) химические реакции, т.е. сам синтез; 3) формирование дисперсного продукта (конденсация, коалесценция, кристаллизация, коагуляция). Вторая стадия во времени и пространстве может протекать параллельно как с первой, так и с третьей. В случае использования дисперсного сырья первая представляется лимитирующей и определяет в связи с этим количественный выход целевого продукта. При этом вы-

сокие скорости движения реагирующих сред, составляющие, например, в каналах трехструйных прямоточных реакторов в зависимости от рабочих параметров плазмотронов 30 – 60 м/с, способствуют сокращению времени пребывания сырья при температурах перехода его в паровую фазу до 0,1 – 1,0 мс, времени синтеза и формирования дисперсного продукта – до 20 – 25 мс. Ввиду кратковременности и отсутствия надежно работающих в подобных условиях средств диагностики и контроля экспериментальное исследование отдельных стадий и синтеза в целом затруднено и может быть реализовано только на основе модельно-математического подхода.

В работе [1] предложена обобщенная математическая модель карбидообразования при плазменном синтезе карбида кремния, включающая подмодели «Испарение сырья» и «Карбидизация сырья», обеспечивающие во взаимодействии с комплексом компьютерных программ выполнение многовариантных исследовательских и инженерных расчетов параметров реактора и эффективной плазменной переработки различных видов кремнийсодержащего сырья в карбид. Однако модель не содержит подмодели «Конденсация», ответственной за формирование нанодисперсного продукта, что в целом несколько снижает прикладную значимость достигнутых авторами [1] результатов.

В работах [2, 3] выполнен теоретический анализ возможности построения конденсационного блока модели технологического процесса объемной конденсации, обеспечивающей количественные прогнозы дисперсности получаемых нанопродуктов. В основе анализа лежит схема формирования целевого нанодисперсного продукта путем превращения пересыщенного однокомпонентного пара в дисперсный конденсат с последующей эволюцией его дисперсного состава сначала путем жидкокапельной коалесценции, а затем – агрегативной коагуляции. По мнению авторов [2, 3], объемная конденсация может быть описана с помощью уравнения Сцилларда – Фаркаша, но значительно упрощенного ввиду теоретической и экспериментальной неопределимости целого ряда входящих в него коэффициентов и адаптированного к системе без химических взаимодействий с пространственными однородными условиями, т.е. далекими от реальных. В работах [2, 3] отсутствует оценка достоверности результатов прогнозирования дисперсности твердых частиц конденсационного происхождения, конкретные примеры и результаты моделирования, что ограничивает технологическую целесообразность реализации такого подхода.

Учитывая сугубо оценочный характер результатов теоретического моделирования процессов конденсации, авторы работ [4, 5] провели для ряда веществ экспериментальное исследование температурной зависимости среднего размера частиц при их росте в плазменном потоке. При этом статистическая обработка результатов, полученных для температурных условий коагуляции, выполнена в виде зависимости

$$\bar{d} = A \cdot T^{-m} \quad (1)$$

где \bar{d} - средний размер частиц; А – коэффициент, зависящий от физических свойств конденсата; Т – температура.

Результаты, описанные в работах [4, 5], приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характер температурной зависимости среднего размера частиц различных веществ при их росте в плазменном потоке

Вещество	Температурный интервал, К	Изменение $\bar{d} \cdot 10^9$, м	Коэффициенты в уравнении $\bar{d} = A \cdot T^{-m}$		Источники информации
			А	m	
Ni	2200-800	70-121	$(2,413 \pm 0,559) \cdot 10^{-6}$	0,451 ± 0,090	[4]
W	3000-2200	30-46	$(1,023 \pm 0,246) \cdot 10^{-4}$	1,423 ± 0,297	[4]
W	2300-1800	43-85	40,231 ± 5,112	2,401 ± 0,554	[5]
Si+Si ₃ N ₄	2200-1650	28-59	$(0,924 \pm 0,193) \cdot 10^{-4}$	1,304 ± 0,251	[5]

Анализ результатов свидетельствует об усилении влияния температуры на процессы укрупнения при переходе от жидкокапельной коалесценции к агрегативной коагуляции. При этом линейная скорость роста частиц составляла порядка $(0,2 - 1,2) \cdot 10^{-6}$ м·с⁻¹, а достигаемый уровень дисперсности не превышал 80 – 120 нм.

Проведенный анализ показывает, что в настоящее время эмпирический подход к исследованию укрупнения нанопроductов в условиях плазменного синтеза является наиболее информативным, устанавливающим связь характеристик дисперсности с температурной как основным фактором, управляющим дисперсностью, поскольку другой важный фактор – массовая концентрация конденсата в потоке в процессах плазменной переработки порошкообразного сырья, как правило, поддерживается близкой к максимальной.

С учетом вышеизложенного, целью настоящей работы является синтез боридов и карбидов ванадия и хрома и экспериментальное исследование эволюции дисперсности их нанопорошков в условиях плазменного потока, включающее определение линейной скорости роста наночастиц и температурной зависимости их среднего размера.

Методика исследования

Плазменный синтез проводился в трехструйном прямоточном реакторе, оборудованном тремя дуговыми плазмотронами ЭДП-104А суммарной мощностью 150 кВт, с каналом, теплоизолированным цилиндрическими вставками из диоксида циркония с толщиной стенки 0,005 м, при внутреннем диаметре 0,054 м и расходе плазмообразующего газа $9,0 \cdot 10^{-3}$ кг/с, генерирующем плазменный поток с начальным теплосодержанием 7,5 – 8,0 МДж/кг, что соответствует среднемассовой температуре 5400 – 5500 К. Устройство, характеристики и особенности эксплуатации такого реактора подробно описаны в работе [1]. Распределение среднемассовой температуры плазменного потока по длине реактора исследовалось методом секционного калориметрирования, т.е. рассчитывалось по величине среднемассовой энтальпии. При этом энтальпия по-

тока газа на выходе из секции принималась меньшей, чем на входе, на количество энергии, переданной газом к стенкам этой секции. Среднемассовая энтальпия находилась как среднеарифметическое от входного и выходного значения энтальпии. Погрешность значений, рассчитанных по данным калориметрирования, составляет $\pm 10\%$ и обусловлена погрешностью градуировки расходомеров ($\pm 3\%$), определения теплового потока ($\pm 4\%$) и расчета ($\pm 3\%$). Продольное распределение среднемассовой температуры плазменного потока азота для реактора с футеровкой из диоксида циркония приведено на рисунке 1.

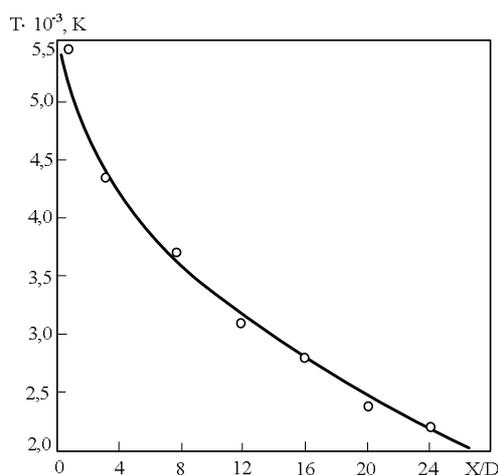


Рисунок 1 – Продольное распределение среднемассовой температуры плазменного потока азота для реактора с футеровкой из диоксида циркония ($T = (5500 \div 2500) \pm (100 \div 45)$; x – осевая координата, D – внутренний диаметр реактора)

Исследование температурной зависимости состава и дисперсности конденсированных продуктов синтеза основывалось на зондовом отборе проб конденсата из различных зон реактора. Отбор проб осуществлялся металлическим интенсивно охлаждаемым (расход воды 0,045 кг/с) зондом, выполненным в виде трубки с внутренним диаметром 0,003 м и длиной 0,5 м, соединенным с консольно-вакуумным насосом КВН-8, создающим разрежении 10 – 20 кПа. Водоохлаждаемые каналы пробоотбора зондов располагались ортогонально оси газодисперсного потока. При этом конденсированные продукты синтеза улавливались на фильтре из стальной сетки саржевого плетения марки С-120. Фильтр устанавливался между зондом и вакуумным насосом. При зондировании реактора скорость закалки продуктов синтеза составляла $10^4 - 10^5$ К/с. Отбор проб проводился в области температур 2600 – 2000 К. Температура продуктов синтеза в различных зонах реактора принималась равной среднемассовой температуре потока. На каждом температурном уровне при перемещении зонда с шагом $5 \cdot 10^{-3}$ м отбиралось 15 – 20 проб конденсата.

Фазовый и химический составы конденсированных продуктов синтеза исследовались методами рентгеновского и химического анализов, а их морфология и дисперсность определялась методами просвечивающей и растро-

вой электронной микроскопии и оценивалась по величине удельной поверхности.

В первом случае исследования проводились с использованием просвечивающего электронного микроскопа EF/4–М/Р «Karl Zeis» с ускоряющим напряжением 65 кВ. При приготовлении препаратов навеска массой 0,1 г смешивалась с 500 мл 50 %-ного раствора этилового спирта и обрабатывалась ультразвуком в диспергаторе ЗДН–1 в течение 15 – 30 мин. Капля полученной суспензии наносилась на угольную подложку толщиной 0,10 – 0,25 мкм и высушивалась при температуре 323 К. При работе с нанопорошками увеличение составляло до 40000.

Во втором случае использовался растровый электронный микроскоп JSM–6700F с ускоряющим напряжением 0,5 – 30 кВ и разрешением 0,1 нм при 15 кВ и 0,22 нм при 1 кВ. Для приготовления препаратов на предварительно прокатанную из индия пластину размером 10x8x1 мм напыляли нанопорошок, вдавливали напыленный слой, а остатки удаляли обдувом поверхности. Далее с увеличением до 300000 исследовались частицы, импрегнированные в металлическую матрицу. Удельная поверхность нанопорошков определялась по тепловой десорбции аргона на установке конструкции ИПМ НАН Украины в соответствии с ГОСТ 23401-78 (с последующими после 01.01.1985 г. изменениями). Сущность метода заключается в определении количества аргона, адсорбирующегося на поверхности нанопорошков из потока аргоново-гелиевой смеси заданной концентрации (обычно аргона 5 – 7 % об., гелия 93 – 95 % об.) при температуре жидкого азота с последующей десорбцией его в ту же смесь при повышении температуры до 293 ± 5 К. Масса образца составляет 0,05 – 0,10 г. Тренировка образцов проводится при продувке аргоном со скоростью $(0,5 - 0,8) \cdot 10^{-6}$ м³/с при температуре 673 К в течение 40 – 50 мин. Погрешность измерения удельной поверхности не превышает 5 %.

Средний размер частиц рассчитывался по формуле

$$d_k = \frac{6}{0,8 \cdot S_{уд} \cdot \rho}, \quad (2)$$

где $S_{уд}$ – удельная поверхность образца, м²/кг; ρ – плотность материала, кг/м³.

При проведении синтеза наноборидов и нанокарбидов в качестве плазмообразующего, транспортирующего и закаливающего газа использовался технический азот (ГОСТ 9293-74) с содержанием кислорода не более 0,5 % об., восстановителя и карбидизатора – метан (природный газ) примерного состава, % об.: метан – 93,6; этан – 3,0; пропан – 2,18; бутан – 1,18). В качестве сырья при получении нанокарбидов использовались порошки оксидов ванадия и хрома технической чистоты крупностью 1 – 10 мкм, а при получении наноборидов – их смеси с аморфным бором марки В 96 (содержание бора 98,1 % масс.). Массовая расходная концентрация составляла 0,10 кг шихты / кг плазмообразующего газа.

Анализ и обсуждение результатов

Продуктами плазменного синтеза в боридообразующих системах в области температур 5400 – (2500–2000) К являются бориды состава VB_2 и CrB_2 , однозначно идентифицируемые рентгеновским методом. Рентгенограммы синтезированных боридов приведены на рисунке 2, вид дифракционных максимумов на которых свидетельствует о низкой аморфизации полученных порошков. Сопоставление периодов кристаллических решеток наноборидов с соответствующими для массивных тел (таблица 2 и [6]) позволяет выявить уменьшение обоих периодов, т.е. «а» и «с» на 0,0004 – 0,0006 и 0,0002 – 0,0003 нм соответственно. Содержание в продуктах синтеза наноборидов VB_2 и CrB_2 составляет 93,22 – 95,01 и 94,10 – 95,26 % масс. соответственно.

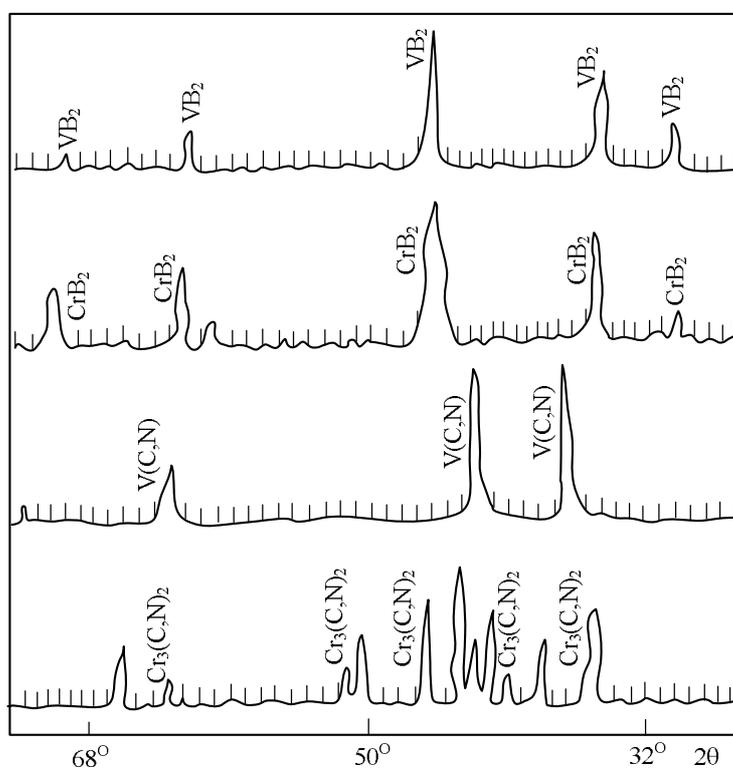


Рисунок 2 – Фрагменты рентгеновских дифрактограмм наноборидов и нанокарбонитридов ванадия и хрома

Таблица 2 – Параметры кристаллической решетки наноборидов и нанокарбонитридов ванадия и хрома

Соединение	Параметры кристаллической решетки, нм, $\pm 0,0002$ нм		
	а	в	с
VB_2	0,2994	–	0,3054
CrB_2	0,2963	–	0,3064
$\text{VC}_{0,85}\text{N}_{0,05}$	0,4161	–	–
$\text{Cr}_3(\text{C}_{0,80}\text{N}_{0,20})_2$	0,5419	0,2617	1,1254

Продуктами плазменного синтеза в карбидообразующих системах в области температур 5400 – (2600-2000) К являются тройные соединения состава $V_{C_{0,85}N_{0,05}}$ и $Cr_3(C_{0,80}N_{0,20})_2$. Для $V_{C_{0,85}N_{0,05}}$ характерны ограниченное содержание азота, близость рентгеновской дифрактограммы (см. рисунок 2) и периода кристаллической решетки (см. таблицу 2) к соответствующим для карбида ванадия предельного по углероду состава. Это позволяет рассматривать тройное соединение $V(C, N)$ как твердый раствор азота в карбиде ванадия, образовавшийся путем заполнения вакансий в процессе формирования в высокотемпературной атмосфере азота дефицитной по углероду карбидной решетки. $Cr_3(C_{0,80}N_{0,20})_2$ идентифицирован авторами [7] как ромбический карбонитрид с кристаллической структурой, отличающейся от структуры карбида наличием октаэдрических структурных элементов, внутри которых расположены атомы азота. В исследуемом диапазоне изменения параметров синтеза состав карбонитрида хрома практически не меняется и в пределах точности анализа и расчета соответствует $Cr_3(C_{0,80}N_{0,20})_2$, что согласуется с данными [7] об отсутствии у него области гомогенности. Содержание в продуктах синтеза нанокарбонитридов $V(C, N)$ и $Cr_3(C, N)_2$ составляет 92,65 – 94,11 и 93,34 – 94,60 % масс. соответственно.

Микрофотографии наноборидов и нанокарбонитридов, полученные методом ПЭМ с использованием подготовленных препаратов, приведены на рисунке 3. Можно видеть, что метод ПЭМ обеспечивает получение таких результатов, как визуализация отдельных частиц, определение их размеров и констатация наноуровня, подтверждение формы частиц, близкой к шаровидной. Методом РЭМ исследовались образцы наноборида и нанокарбонитрида хрома. Микрофотографии образцов приведены на рисунках 4 и 5. Нанопорошки диборида и карбонитридов хрома представлены агрегатами шарообразной или близкой к ней формы размером от 600 до 150 нм, образованными сообществом глобулярных частиц достаточно широкого размерного диапазона – от 20 до 80 нм, число которых в агрегате зависит от его крупности.

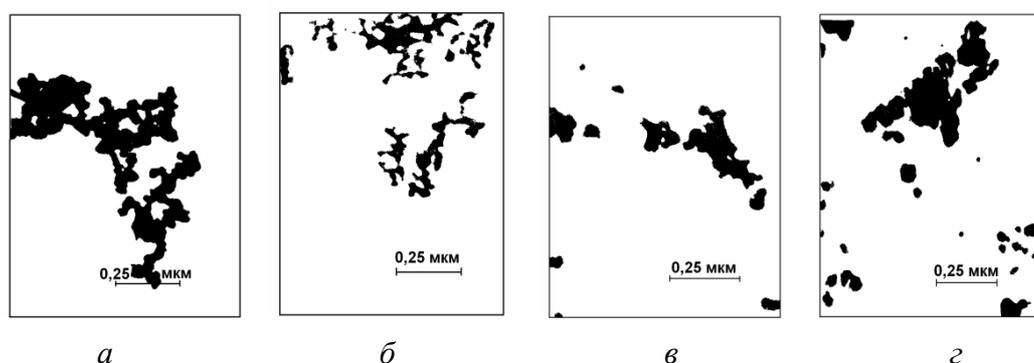


Рисунок 3 – Микрофотографии наноборидов и нанокарбонитридов ванадия и хрома – ПЭМ: а – VB_2 ; б – CrB_2 ; в – $V(C, N)$; г – $Cr_3(C, N)_2$

Наноуровень и морфология частиц позволяют рассматривать их как продукты борирования или науглероживания микрокапель хрома, образующихся при объемной конденсации его паров, жидкокапельной коалесценции и кристаллизации, а присутствие в исследуемых объектах агрегатов различного объема указывает на высокую вероятность дальнейшего укрупнения наночастиц при понижении температуры путем их коагуляции. Действительно, в исследуемой области температур (2600 – 2000) К отмечается устойчивое укрупнение боридных и карбонитридных частиц при закономерном снижении линейной скорости их роста (рисунок 6). Линейная скорость роста наночастиц составляет, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$, для VB_2 $(0,43\div 2,67)\cdot 10^{-6}$, CrB_2 $(0,26\div 2,40)\cdot 10^{-6}$, $\text{V}(\text{CN})$ $(5,80\div 10,40)\cdot 10^{-6}$, $\text{Cr}_3(\text{CN})_2$ $(2,96\div 6,04)\cdot 10^{-6}$.

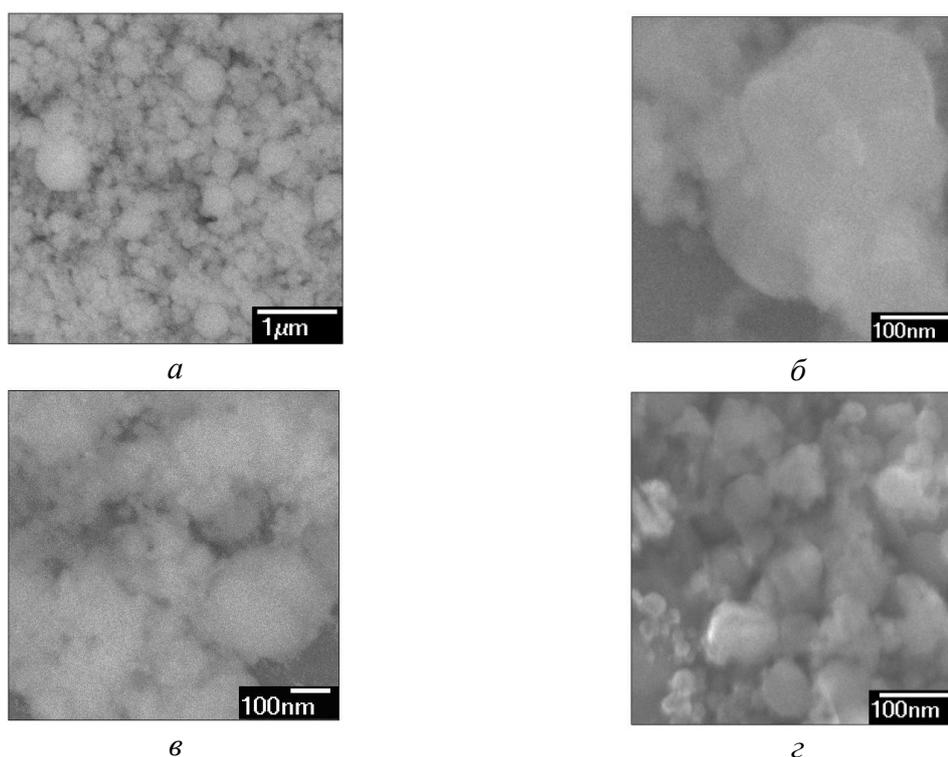


Рисунок 4 – Микрофотографии наноборида хрома – РЭМ: *а* – внешний вид; *б* – морфологическая картина агрегата; *в* – ансамбль частиц и агрегатов; *г* – отдельные частицы

Средний размер наночастиц возрастает для VB_2 с 46 до 60 нм, CrB_2 – с 46 до 52 нм, $\text{V}(\text{CN})$ – с 47 до 80 нм, $\text{Cr}_3(\text{CN})_2$ – с 41 до 90 нм и изменяется с температурой по закону $\bar{d} \sim T^{-0,471}$, $\sim T^{-2,16}$, $\sim T^{-2,06}$ соответственно (таблица 3). Следовательно, нанопорошки карбонитридов укрупняются в 1,70÷2,20 раза, а боридов – только в 1,10 – 1,30 раза. Подобный характер изменения дисперсности нанопорошков карбонитридов может быть обусловлен способностью исходных наночастиц металлоподобных соединений к твердофазной коалесценции (первичной рекристаллизации) внутри агрегатов.

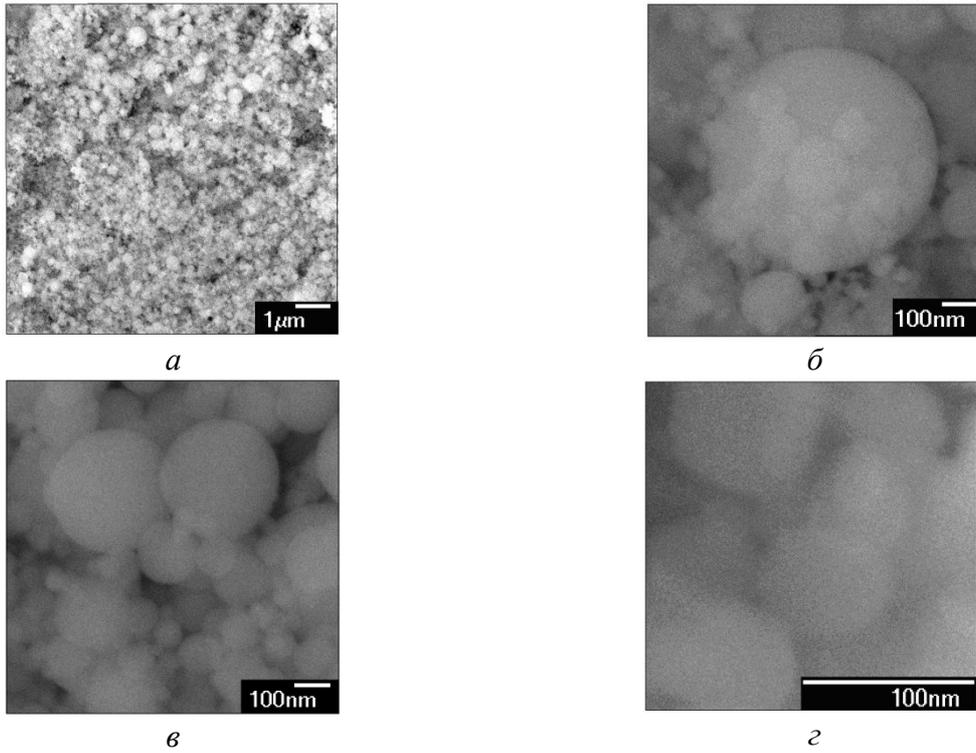


Рисунок 5 – Микрофотографии нанокарбонитрида хрома – РЭМ: *a* – внешний вид; *б* – морфологическая картина агрегата; *в* – ансамбль частиц и агрегатов; *г* – отдельные частицы

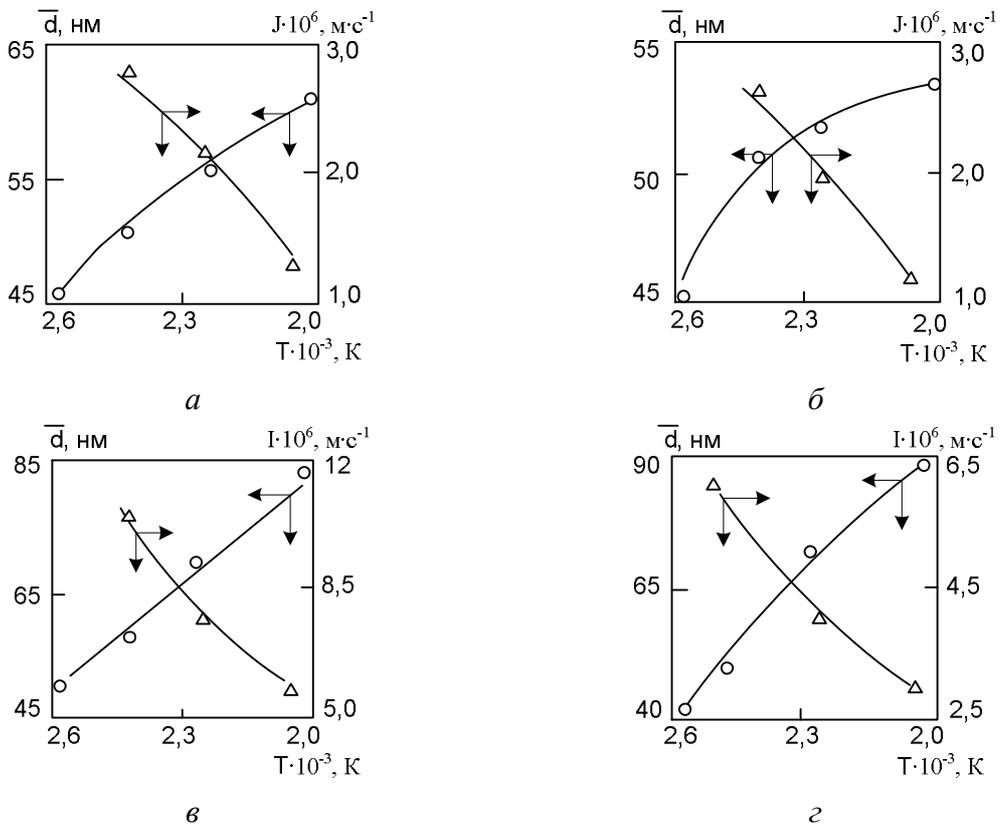


Рисунок 6 – Зависимость среднего размера частиц (\bar{d}) и линейной скорости их роста (J) от температуры потока (T) для боридов (*a*, *б*) и карбонитридов (*в*, *г*) ванадия и хрома

Действительно, при обжиге нанопорошков карбонитридов в аргоне при температурах 1173 и 1273 К в течение 0,5 часа (всего 0,40 и 0,45 от температуры плавления для V(C,N), 0,54 – 0,64 от температуры плавления для Cr₃C₂) отмечается укрупнение порошков соответственно до 150 – 200 и 300 – 600 нм (см. рисунок 7). При этом форма частиц изменяется от каплевидной и сферической до дендритной при отсутствии межчастичных границ.

Таблица 3 – Характер температурной зависимости среднего размера частиц боридов и карбонитридов ванадия и хрома при их укрупнении в плазменном потоке

Соединение	Температура, К	\bar{d} , нм	Коэффициенты в уравнении $\bar{d} = A \cdot T^{-m}$	
			A	m
VB ₂	2600 – 2000	46 – 60	$(1,20 \pm 0,02) \cdot 10^{-4}$	1,08 ± 0,241
CrB ₂	– " –	46 – 52	$(2,30 \pm 0,04) \cdot 10^{-6}$	0,471 ± 0,105
V(CN)	– " –	47 – 80	0,418 ± 0,016	2,16 ± 0,451
Cr ₃ (CN) ₂	– " –	41 – 90	726 ± 35,1	2,96 ± 0,436

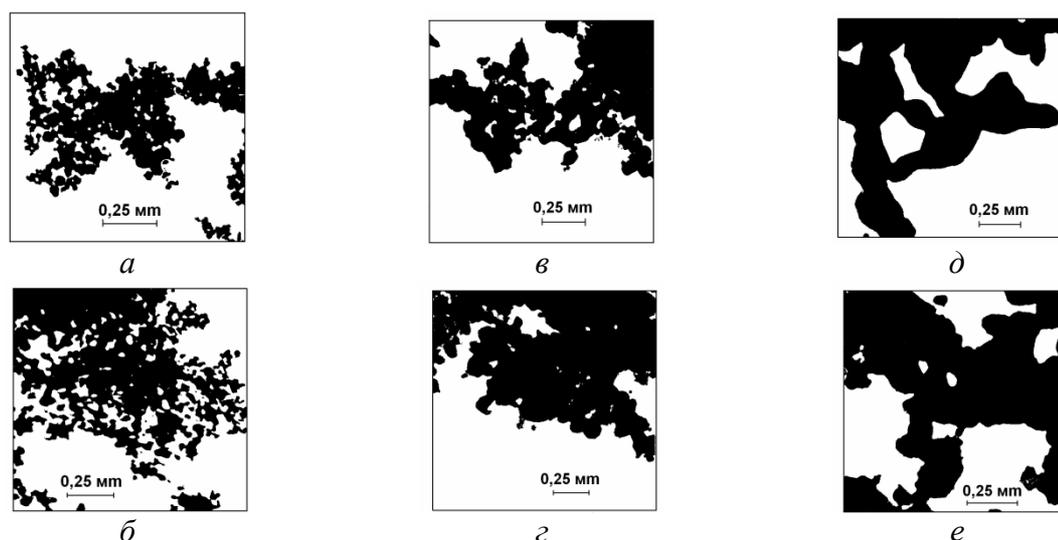


Рисунок 7 – Микрофотографии (ПЭМ) исходных нанопорошков карбонитридов хрома (а) и ванадия (б), порошков этих соединений после обжига в аргоне при 1173 К (в, г) и при 1373 К (д, е)

Выводы

Исследованы синтез и эволюция дисперсности нанопорошков боридов и карбонитридов ванадия и хрома в условиях плазменного потока азота в области температур 5400 – (2600 ÷ 2000) К. Бориды соответствуют составу VB₂ и CrB₂, а карбонитриды – VC_{0,85}N_{0,05} и Cr₃(C_{0,8}N_{0,2})₂ при содержании основных фаз 93 – 95 % масс. В интервале температур 2600 – 2000 К нанопорошки боридов укрупняются в 1,10 – 1,30 раза, а карбонитридов в 1,70 – 2,20 раза. Наноразмер и морфология частиц позволяет рассматривать их как продукты

борирования (науглероживания) микрокапель хрома, образующихся при объемной конденсации его паров, жидкокапельной коалесценции, кристаллизации, агрегативной коагуляции, дополняемой в случае карбонитридов твердофазной коалесценцией. Для синтезированных соединений экспериментальным путем получены зависимости среднего размера частиц от температуры плазменного потока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руднева В.В. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве карбида кремния: монография: в 3 т. / В.В. Руднева. Дополнительный том: Плазмометаллургическое производство карбида кремния: развитие теории и совершенствование технологии. – М.: Флинта: Наука, 2008. – 387 с.
2. Сутугин А.Г. Предсказание дисперсности твердых частиц конденсационного происхождения / А.Г. Сутугин, Э.И. Котцев // Инж.-физ. журнал. – 1977. – Т. 32. - № 3. – С. 340 – 347.
3. Сутугин А.Г. Кинетика образования малых частиц при объемной конденсации / А.Г. Сутугин // Физикохимия ультрадисперсных систем: сб. науч. тр. – М.: Наука, 1987. – С. 15 – 20.
4. Алексеев Н.В. Управление дисперсностью металлических порошков, получаемых в струйном плазмохимическом реакторе / Н.В. Алексеев, М.И. Гречиков // Плазменные процессы в химической промышленности: сб. науч. тр. – ИХП АН СССР. – Черноголовка. – 1987. – С. 54 – 72.
5. Пегов В.С. Механизм роста субмикронных частиц вольфрама и нитрида кремния в высокоэнтальпийных газовых потоках / В.С. Пегов, И.В. Евгенов // Физикохимия ультрадисперсных систем: сб. науч. тр. – М.: Наука, 1987. – С. 180 – 186.
6. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений: справочник / Под ред. Т.Я. Косолаповой. – М.: Metallurgia, 1986. – 928 с.
7. Ettmayer P. Die Kristallstruktur von $\text{Cr}_3(\text{C},\text{N})_2$ und $\text{Cr}_3(\text{V},\text{C})_2$ / P. Ettmayer, G. Vinck, H. Rassaerts. // Monatshefte für Chemie. – 1966. – В. 97, № 4. – S. 1258 – 1262.

УДК 546.261

Л.С. Ширяева, И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОГО СИНТЕЗА НАНОКАРБИДА ХРОМА

Разработаны научные и технологические основы плазменного синтеза карбида хрома, включающие анализ современного состояния производства и применения карбида хрома Cr_3C_2 , определение характеристик трёхструйного плазменного реактора, модельно-математическое исследование взаимодействия сырьевого и плазменного потоков, прогнозирование технологических показателей плазменного синтеза карбида хрома на основе результатов моделирования и выбор оптимального технологического варианта, реализацию плазмометаллургической технологии производства карбида хрома, его физико-химическую аттестацию и определение технико-экономических показателей.

Investigated the scientific and technological bases of plasma synthesis of chromium carbide, including analysis of the current state of production and use of chromium carbide Cr_3C_2 , the characterization of three-jet plasma reactor, the model-a mathematical study of the interaction of raw and plasma flows, forecasting techno-logical parameters of the plasma synthesis of chromium carbide based on simulation results and the choice of optimal technology option, the implementation of plasmametallurgical technology chromium carbide, its physic-chemical certification and determination of economic indicators.

Высший по содержанию углерода карбид Cr_3C_2 – изнoso- и коррозионноустойкий, твёрдый, химически инертный материал – востребован в современной технике и технологиях для изготовления защитных покрытий металлов и керметов, в качестве компонентов и легирующих добавок безвольфрамовых твёрдых сплавов. Анализ современного состояния отечественного и мирового производства и применения карбида хрома показывает, что можно выделить три группы способов получения карбида хрома Cr_3C_2 с точки зрения агрегатного состояния сырья и основных областей применения: карботермическое восстановление оксида хрома в насыпном или компактированном виде в неокислительной атмосфере (N_2 , H_2 , вакуум, инертный газ); карботермическое восстановление оксида хрома в расплаве; карботермическое восстановление оксида хрома в газовой фазе. Карбид хрома Cr_3C_2 , полученный способами первой группы, применяется в порошковой металлургии в технологии

керметов, второй группы – для напыления и наплавки защитных покрытий, третьей группы – в композиционных материалах. Дальнейшие перспективы применения связаны с нанопорошками карбида хрома. Классификация известных способов получения карбида хрома Cr_3C_2 с точки зрения агрегатного состояния исходной реакционной шихты и основных областей применения представлена на рисунке 1.

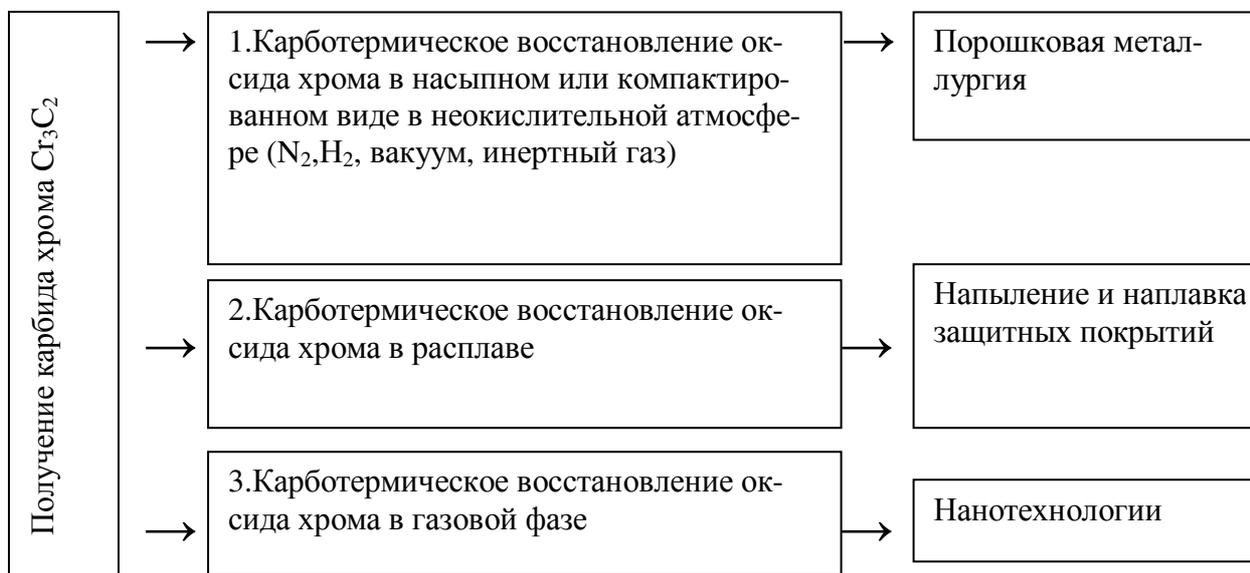


Рисунок 1– Классификация способов получения карбида хрома Cr_3C_2

Освоенная в Сибирском государственном индустриальном университете (СибГИУ) в 80-х годах технология плазмометаллургического синтеза относится к третьей группе способов получения карбида хрома и реализуется с использованием трёхструйного прямоточного плазменного реактора. Для генерации плазменного потока используются три электродуговых плазмотрона ЭДП–104А суммарной мощностью до 50 кВт, установленные в камере смешения, в качестве плазмообразующего газа применяется азот. Реализация предлагаемой плазмометаллургической технологии в полной мере делает её экологически безопасной, обеспечивающей получение карбида хрома, близкого по составу к стехиометрическому, в виде нанопорошков с размером частиц 50–70 нм и возможность выделения в товарном виде высокодисперсной сажи и продукта улавливания цианистого водорода – технического цианида натрия. Наряду с достоинствами в данной технологии имеются такие недостатки, как технологическая и экономическая нецелесообразность использования в качестве карбидизатора технической пропан - бутановой смеси, требующей для переработки сложной по составу и генерации азотно-аммиачно-водородной плазмы, и лабораторный уровень реализации.

Целью работы является разработка научных и технологических основ плазменного синтеза карбида хрома, для достижения которой ставились и решались следующие задачи: проведение анализа современного состояния

производства и применения карбида хрома Cr_3C_2 ; определение характеристик трёхструйного плазменного реактора; модельно–математическое исследование взаимодействия сырьевого и плазменного потоков; прогнозирование основных технологических показателей плазмометаллургического производства карбида хрома на основе результатов моделирования и выбор оптимального технологического варианта; реализация плазмометаллургической технологии производства карбида хрома, его физико-химическая аттестация и определение технико-экономических показателей.

В настоящее время в СибГИУ накоплен значительный опыт исследования и эксплуатации трёхструйного прямогоплазменного реактора с работающими на азоте электродуговыми плазмотронами и применения его для синтеза тугоплавких карбидов, боридов, их композиций, обобщённый в работах [1-5]. Так, показано, что оптимальной следует считать конструкцию реактора с равномерным расположением плазмотронов по окружности, с углом наклона плазменных струй к оси реактора $30\text{--}45^\circ$ и тепловой защитой интенсивно охлаждаемых стенок, обеспечивающую оптимальный режим работы камеры смешения, высокую равномерность радиального распределения температуры и скорости при минимальных потерях тепловой энергии. Однако обобщенные в [1-4] результаты получены для лабораторного плазменного реактора мощностью 30-50 кВт, не содержат проектно-технологических предложений и рекомендаций по выходу на промышленный уровень и полной информации по его теплотехническим и технологическим характеристикам.

Для определения промышленного уровня мощности трёхструйного реактора проведено его теплотехническое обследование в диапазоне мощности 80-250 кВт, включающее определение теплового КПД плазмотронов, достигаемой удельной энтальпии плазменного потока на входе в реактор, массового расхода генерируемого в этих условиях плазмообразующего газа. Установлено, что сочетание теплового КПД, требуемой удельной энтальпии плазмообразующего газа и его массового расхода, близкое к оптимальному, достигается при мощности реактора 150 кВт. Дальнейшее повышение уровня мощности нецелесообразно, поскольку при возможном конструктивном выборе плазмотронов не обеспечивает требуемой удельной энтальпии плазменного потока. Для трёхструйного реактора с внутренним каналом диаметром 0,054 м и мощностью 150 кВт среднemasсовая температура плазменного потока на длине 12 калибров изменяется в пределах $(5500 \div 2650)$ К для нефутерованного канала и $(5500 \div 3200)$ К при теплоизоляции его цилиндром из диоксида циркония толщиной 0,005 м; при этом температура внутренней поверхности изменяется в пределах $(800 \div 350)$ К и $(1900 \div 850)$ К соответственно. Удельная электрическая мощность достигает 1214 МВт/м^3 , что значительно превышает этот показатель для традиционного электротермического оборудования (обычно около $0,2 \text{ МВт/м}^3$). Расчетный ресурс работы электродов составляет для медного анода 4700, вольфрамового катода 111 часов. Прогнозируемое загрязнение карбида хрома продуктами эрозии электродов не превышает 0,0001 % меди и 0,00002 % вольфрама. По совокупности характеристик трех-

струйный плазменный реактор мощностью 150 кВт может быть отнесен к высокоэффективному, надежно работающему современному электротермическому оборудованию.

Модельно-математическое исследование взаимодействия сырьевого и плазменного потоков включало проведение термодинамического и кинетического анализа. В связи с использованием в процессах синтеза в качестве хромсодержащего сырья – хрома, оксида Cr_2O_3 и трихлорида CrCl_3 , углеводородного сырья – метана и плазмообразующего газа – азота объектами исследования являлись системы C-H-N , Cr-O-C-H-N , Cr-Cl-C-H-N , Cr-C-H-N . Термодинамический анализ выбранных технологических вариантов показал, что в системах Cr:O:C:H:N и Cr:C:H:N 100 %-ный выход карбида хрома возможен при стехиометрических соотношениях Cr:C и C:H и температуре 2000–2200К. В системе Cr-C-Cl-H-N 100%-ный выход карбида хрома достигается при стехиометрическом соотношении Cr:C , 3-х кратном избытке водорода и температуре 2000-2200К; образование карбида хрома происходит с участием конденсированного хрома и циановодорода по механизму «пар – расплав – кристалл», что позволяет предположить возможность достижения его высокого выхода в реальных условиях синтеза. Для взаимодействия дисперсного хромсодержащего сырья с высоконагретым потоком газа в плазменном реакторе рассчитана степень испарения сырья для синтеза карбида хрома в зависимости от энергетических параметров реактора, крупности, скорости ввода в плазменный поток и массовой расходной концентрации. Установлено, что при подводимой к реактору мощности 75 кВт достигается 100 %-ная степень испарения частиц хрома крупности не более 30 мкм, оксида хрома (III) не более 20 мкм, хлорида хрома (III) не более 70 мкм. На основании полученных результатов выбраны сырьевые материалы для синтеза карбида хрома.

Результаты модельно-математического исследования позволили спрогнозировать технологические показатели плазмометаллургического производства карбида хрома для различного вида хромсодержащего сырья и выбрать оптимальный технологический вариант (таблица 1). При расчёте учитывались потери сырья в реакторе в количестве 4 % и потери продуктов синтеза в системе улавливания 5%. Оптимальным технологическим вариантом является карбидизация хрома природным газом.

Технология реализована в трёхструйном прямоточном реакторе мощностью 150 кВт в условиях НПФ «Полимет» с использованием в качестве сырья хрома металлического марки ПХ-1М (ТУ 14-1-1474-75, изм.) и природного газа, содержащего метана до 94 % об. Для генерации плазменного потока используются три электродуговых подогревателя (плазмотрона) ЭДП-104А мощностью до 50 кВт каждый, установленные в камере смешения под углом 30° к оси реактора. Подача высокодисперсного сырья в камеру смешения осуществляется с помощью водоохлаждаемой фурмы. В комплекс оборудования, обеспечивающего работу реактора, входят системы электро-газо- и водоснабжения, контрольно-измерительных приборов, автоматики, контроля

состава плазмообразующего и отходящего из реактора газа, дозирования шихтовых материалов и улавливания продуктов.

Таблица 1 – Прогнозируемые технологические показатели плазмометаллургического производства карбида хрома

Технологический вариант	В I карбидизация хрома Cr	В II восстановление Cr_2O_3	В III восстановление $CrCl_3$
Степень превращения	0,95	0,95	0,95
Выход продукта, %	92,0	90,0	91,8
Производительность по карбиду хрома, кг/ч	3,42	2,79	1,69
Интенсивность производства, кг/ч·м ³	1368	1116	676
Расход хромосодержащего сырья, кг/кг	0,9	1,3	2,76
Расход газа –теплоносителя, кг/кг	9,47	11,6	19,7
Расход метана, кг/кг	0,175	0,58	0,18
Расход эл. энергии, кВт·ч /кг	65,79	80,65	133,14
Расход охлаждающей воды, м ³ /кг	1,08	1,32	2,19

Для комплексной физико-химической аттестации карбида хрома методами рентгеновского и химического анализов исследовались кристаллическая решётка, фазовый и химический составы, а методами просвечивающей (ПЭМ) и растровой (РЭМ) электронной микроскопии – дисперсность и морфология частиц. Установлено, что продуктом плазменного синтеза является тройное соединение – карбонитрид хрома. Рентгенограмма $Cr_3(C_{0,80}N_{0,20})_2$ приведена на рисунке 2.

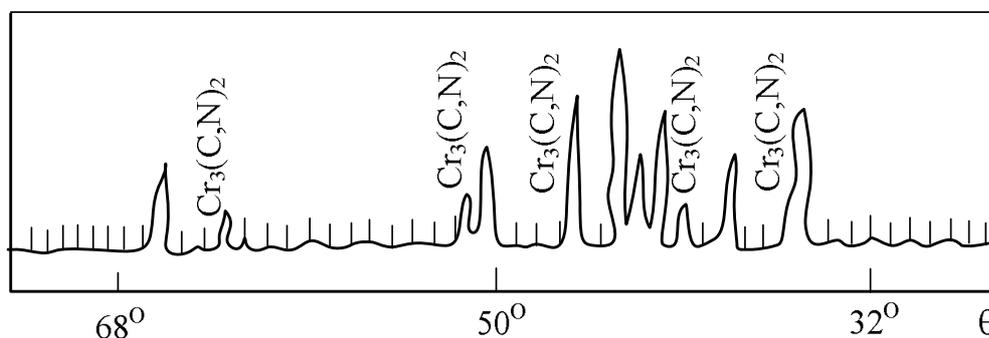


Рисунок 2 – Фрагмент рентгеновской дифрактограммы нанокарбида хрома

$\text{Cr}_3(\text{C}_{0,80}\text{N}_{0,20})_2$ идентифицирован как ромбический карбонитрид с кристаллической структурой, отличающейся от структуры карбида наличием октаэдрических структурных элементов, внутри которых расположены атомы азота. В исследуемом диапазоне изменения параметров синтеза состав карбонитрида хрома практически не меняется и в пределах точности анализа и расчёта соответствует $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,80}\text{N}_{0,20})_2$. Содержание в продуктах синтеза нанокарбонитрида хрома составляет 93,34 – 94,6 % масс. Кристаллическая структура карбонитрида хрома нестабильна и при низкотемпературном обжиге (1170-1370К) в инертной среде или азоте в присутствии свободного углерода перестраивается в карбидную предельного состава Cr_3C_2 .

Микрофотографии нанокарбонитрида хрома приведены на рисунках 3 и 4 соответственно.

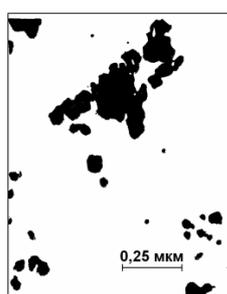


Рисунок 3 – Микрофотография нанокарбонитрида хрома – ПЭМ

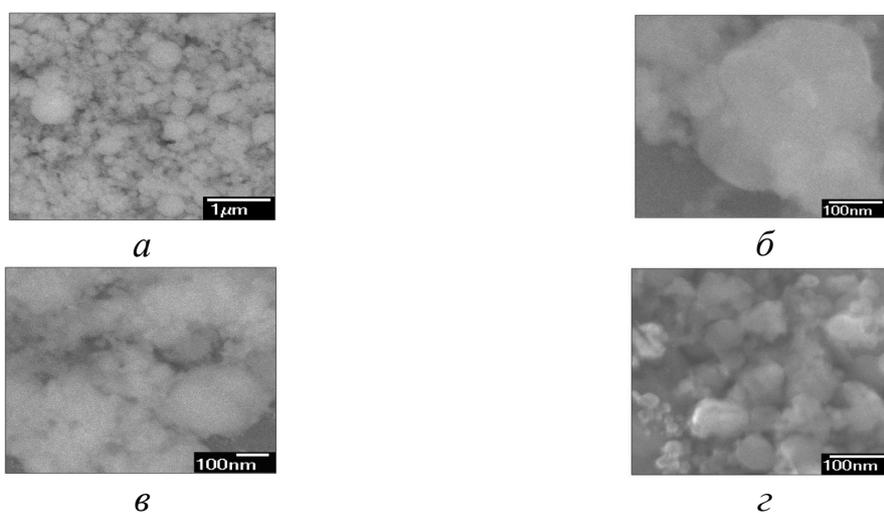


Рисунок 4 – Микрофотографии нанокарбонитрида хрома – РЭМ:
a – внешний вид; *б* – морфологическая картина агрегата; *в* – ансамбль частиц и агрегатов; *г* – отдельные частицы

Нанопорошок карбонитрида хрома представлен агрегатами шарообразной или близкой к ней формы размером от 600 до 150 нм, образованными сообществом глобулярных частиц достаточно широкого размерного диапазона – от 20 до 80 нм, число которых в агрегате зависит от его крупности. Наночастицы и морфология частиц позволяют рассматривать их как продукты на-

углероживания микрокапель хрома, образующихся при объёмной конденсации его паров, жидкокапельной коалесценции и кристаллизации, а присутствие в исследуемых объектах агрегатов различного объёма указывает на высокую вероятность дальнейшего укрупнения наночастиц при понижении температуры путём их коагуляции.

Оптимальные значения технологических факторов и допустимые пределы их изменения, а также основные характеристики синтезируемого при этих условиях карбонитрида хрома, полученные при пятикратном дублировании опытов, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Допустимые пределы изменения параметров синтеза карбонитрида хрома в промышленном реакторе мощностью 150 кВт и его основные характеристики

Параметры синтеза и характеристики карбонитрида хрома	Значение
Состав газа-теплоносителя, % об.	
–азот	100
Состав карбидизатора, % об.	
–метан	93,6
–этан	3,0
–пропан	2,2
–бутан	1,2
Состав хромсодержащего сырья, % масс.	
–хром металлический	99,3
Крупность хромсодержащего сырья, мкм	–10
Производительность по сырью, кг/ч	3,11
Количество карбидизатора, % от стехиометрического	120–140
Начальная температура плазменного потока, К	н.м. 5400
Температура закалки, К	2000÷2200
Фазовый состав	$Cr_3(C_{0,80}N_{0,20})_2$
Химический состав, % масс.	
– $Cr_3(C_{0,80}N_{0,20})_2$	91,8–93,45
–хром свободный	2,10–1,80
–углерод свободный	1,30–1,10
–оксид хрома (III)*	4,00–3,00
–летучие	0,80–0,60
Выход карбида хрома, % масс.	92,0
Удельная поверхность, м ² /кг	32000–37000
Размер** частиц, нм	30–35
Форма частиц	Сферическая
Окисленность нанопорошка карбонитрида хрома*** $\times 10^7$, кг O ₂ /м ²	2,56
Производительность, кг/ч	3,42
Интенсивность, кг/ч·м ³	1368
Примечание: *– определялось по содержанию кислорода; **– рассчитывался по величине удельной поверхности; ***– определялась после выдержки на воздухе в течении 24 ч.	

Оценка экономической эффективности плазмометаллургического производства карбида хрома показывает, что может реализовываться при отпускной цене 220 \$/кг, и, следовательно, быть конкурентоспособен на мировом рынке наноматериалов, на котором ведущими зарубежными производителями нанопорошков карбидов установлен диапазон цен в пределах 400–2000 \$/кг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галевский Г.В. Гидродинамические и теплотехнические характеристики трехструйного прямоточного реактора для высокотемпературного синтеза тонкодисперсных материалов / Г.В. Галевский [и др.]. – Новосибирск: ИТФСОРАН, 1990. – 40с.

2. Руднева В.В. Плазменный реактор для нанотехнологий: исследование, эксплуатация, совершенствование / В.В. Руднева // Вестник РАЕН: Проблемы развития металлургии в России (тематический номер). – 2006. – Т. 6. – № 3. – С. 18-30.

3. Руднева В.В. Исследование и эксплуатация плазменного реактора для нанотехнологий. Сообщение. Анализ современного состояния / В.В. Руднева // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии: сб. науч. тр. // СибГИУ. – Новокузнецк: Москва, 2006. – Вып. 17. – С. 8-21.

4. Руднева В.В. Исследование и эксплуатация плазменного реактора для нанотехнологий. Сообщение 2. Совершенствование трехструйного плазменного реактора / В.В. Руднева // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии: сб. науч. тр. // СибГИУ. – Новокузнецк: Москва, 2006. – Вып. 17. – С. 22-24.

5. Галевский Г.В. Технология плазмометаллургического производства наноматериалов : учеб. пособие : в 2 т. / Т. 1. Основы проектирования плазмометаллургических реакторов и процессов / Г.В. Галевский, В.В. Руднева, О.А. Полях. – М. : Флинта :Наука, 2008. – 228 с.

УДК 669.046:536.45:533.9

И.В. Ноздрин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Л.С. Ширяева,
М.А. Терентьева

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОТОКОВ ХРОМСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ И ГАЗА – ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТРЕХСТРУЙНОМ ПЛАЗМЕННОМ РЕАКТОРЕ

Проведено модельно-математическое исследование взаимодействия дисперсного хромсодержащего сырья с высоконагретым потоком газа в плазменном реакторе. Рассчитана степень испарения сырья для синтеза боридов и карбидов хрома в зависимости от крупности, скорости ввода в плазменный поток, массовой расходной концентрации, энергетических параметров реактора.

The results of modelling-mathematical research of interaction of streams chromium raw materials and gas-heat-carrier in the plasma reactor are described in the article.

Общие вопросы моделирования взаимодействия плазменного и сырьевого потоков

Сопоставление различных технологий получения порошков тугоплавких соединений свидетельствует о том, что для достижения наноуровня в первую очередь востребованы технологии, основанные на применении высококонцентрированных энергетических потоков для газификации сырья и формирования целевого продукта при объемной конденсации из газовой фазы. Среди подобных технологий плазменный способ отличается сравнительной простотой реализации и является наиболее изученным и конкурентоспособным. Процессы плазменного синтеза условно можно подразделить на три стадии: 1) эволюция исходного сырья, включающая его движение в потоке газа-теплоносителя, нагрев и фазовые переходы; 2) химические реакции, т.е. сам синтез; 3) формирование дисперсного продукта (конденсация, коалесценция, кристаллизация, коагуляция). На завершенность первой стадии, являющейся в случае использования дисперсного сырья лимитирующей и определяющей в связи с этим количественный выход целевого продукта, существенные ограничения накладывают высокие скорости движения реагирующих сред, составляющие в каналах трехструйных прямоточных реакторов в зависимости от рабочих параметров плазмотронов 30 – 60 м/с и тем самым способствующие сокращению времени пребывания сырья при температурах перехода его в паровую фазу (10^{-4} – 10^{-5} с). В связи с этим из всех факторов, влияющих на степень превращения исходного сырья, а именно: теплофизических и термодинамических свойств плазмы и сырья, соотношения массовых расходов плазмообразующего газа и сырья,

начальной температуры плазмы, конструктивных особенностей реактора, удельных энергозатрат, организации процесса смешения дисперсного сырья с плазмой и др. – основным лимитирующим фактором является теплообмен высокотемпературного потока газа с движущимися в нем частицами обрабатываемого материала. Следовательно, высокие степени превращения сырья на первой стадии синтеза могут быть достигнуты при таких гидродинамических и энергетических параметрах реакторов, которые обеспечивают за весьма ограниченное время подвод от теплоносителя к дисперсному сырью количества энергии, достаточного для требуемых теплофизических и физико-химических превращений. Однако экспериментальное исследование этой стадии синтеза затруднено ввиду её кратковременности и отсутствия надежно работающих в подобных условиях средств диагностики и контроля и сводится в связи с этим, как правило, к модельно-математическому, позволяющему при определенной «идеализации» процесса выявить влияние на степень перехода сырья в газовую фазу температуры и скорости газового потока в зоне ввода сырья, расхода реагентов, условий ввода и размеров частиц сырья.

Существующие математические модели первой стадии плазменных процессов синтеза с использованием дисперсного сырья, обзор и подробный анализ которых приведен в [1], являются в основном одномерными, рассматривающими безградиентный нагрев частиц, движущихся в потоке с постоянными или изменяющимися параметрами. В большинстве моделей принимаются постоянными значения коэффициентов межкомпонентного теплообмена, свойства плазмы, такие как теплопроводность и теплоемкость, свойства дисперсного материала, температура потока. Потери тепла в стенку не учитываются, принимаются средние по экспериментальным данным или вычисляются по зависимостям для турбулентного режима на стабилизированном участке. При расчетах не учитывается влияние концентрации твердого сырья на теплообмен плазмы со стенками реактора, не всегда учитываются значительный температурный перепад в пограничном слое частицы. Такие допущения снижают практическую ценность результатов моделирования. Действительно, изменение коэффициента теплоотдачи от плазменного потока к стенке канала на длине реактора в 1 калибр в зависимости от рабочих параметров плазмотронов может изменяться от 350 – 400 до 200 – 250 Вт/(м²·К), т.е. на 35 – 40 %, образование гарниссажа на стенках реактора приводит к снижению коэффициента теплоотдачи на 15 – 35 % [2]. Для азота и воздуха при температурах выше и ниже 4000 К различие в значениях теплоемкости и коэффициента теплопроводности может превышать 100 – 300 %.

Таким образом, при некоторой разноплановости подходов модельно-математическое исследование сводится к совместному решению уравнений движения частиц сырья, межкомпонентного теплообмена и теплообмена плазменного потока со стенками реактора, т.е. представляет собой случай математического моделирования сложных металлургических систем. При этом число допущений может достигнуть 10, в связи с чем задача не имеет точного решения, а моделирование носит прогнозный характер. Поэтому необходим крити-

ческий подход к выбору модели и оценке результатов исследования. Однако интерес исследователей к математическому моделированию стадии испарения дисперсного сырья устойчиво сохраняется длительное время, что объясняется высокой практической значимостью результатов.

Математическая модель для расчёта процессов испарения дисперсного сырья в трёхструйном плазменном реакторе

В развитии математического моделирования процессов обработки дисперсного сырья применительно к условиям трёхструйного плазменного реактора можно выделить следующие этапы совершенствования и углубления. В 70-е–80-е годы 20-го столетия в Институте тепло- и массообмена АН БССР [1] под руководством профессора А.Л. Моссэ выполнены работы, включающие следующее поэтапное построение модели: постановку задачи, математическое описание структурных блоков, составление вычислительного алгоритма, программирование и реализацию программы «BIS–80» на ЭВМ, опробование модели для процессов, в которых обрабатываемый дисперсный материал подвергается в основном теплофизическим превращениям без «газификации» в условиях лабораторного реактора. В 80-е – 90-е годы 20-го столетия в Сибирском металлургическом институте (ныне Сибирский государственный индустриальный университет) под руководством профессора Г.В. Галевского выполнен цикл работ, обобщенных в [2], направленных на совершенствование базового варианта модели: учет эффекта вынужденной турбулизации плазменного потока, снижения интенсивности теплообмена при гарниссажеобразовании в канале, экспериментальное определение для оксидов степени восстановления по составу газовой фазы, позволившее установить высокую достоверность результатов численных расчетов. Так, установлено, что для оксидов ванадия, кремния, титана, циркония наблюдается превышение расчетной степени испарения (фактически восстановления) над экспериментально определенной степенью восстановления, составляющей 5 – 10 %, что может быть объяснено полидисперсностью сырья, существенной неизотермичностью потока и свидетельствует об адекватности модели. В дальнейшем было осуществлено конвертирование программы «BIS-80» для работы в операционной системе MS Windows (программа «BIS-80/MSW»).

Описание математической модели взаимодействия плазменного и сырьевого потоков А.Л. Моссэ – Г.В. Галевского приведено в [3]. Модель включает пять блоков: блок задания начальных условий; блок изменения гидродинамических условий, описывающий движение частиц и плазменного потока уравнениями диаметра конуса разлета частиц из фурмы подачи дисперсного сырья, движения частиц, неразрывности потока, пролетаемого частицей в реакторе расстояния; блок изменения тепловых условий, описывающий теплообмен плазменного потока со стенками канала реактора уравнениями теплофизических свойств газа при среднемассовой температуре потока и температуре частицы, баланса тепла для реактора, баланса тепла для газа, теплового потока от плазмы к стенке реактора; блок изменения тепловых условий, описывающий

теплообмен плазменного потока с дисперсным сырьем уравнениями коэффициента межкомпонентного теплообмена, баланса тепла для дисперсного материала, степени испарения; блок оценки достоверности результатов плазменной обработки оксидного сырья, основанный на обобщающем положении о лимитировании процессов плазменного восстановления степенью перехода сырья в газовую фазу и на экспериментальном определении степени восстановления по составу газовой фазы.

При моделировании обычно принимаются следующие допущения, начальные и граничные условия. Начальное сечение реактора $x = 0$ соответствует точке соударения плазменных струй и сырьевого потока; температура и скорость плазменного потока в поперечном сечении реактора одинаковы и равны среднемассовой; частицы монодисперсны, имеют температуру, равную их среднемассовой, распределены равномерно по поперечному сечению реактора, не сталкиваются друг с другом и со стенками реактора. Начальные условия при $x = 0$: $\tau = 0$; начальная температура частицы равна 300 К; количество тепла, переданное частице в момент времени $\tau = 0$, равно 0. Граничные условия: диаметр реактора постоянен; температура плазмы больше температуры частицы, температуры плавления и испарения перерабатываемых материалов – заданные величины.

Отличительной особенностью реализуемого варианта модели является использование для теплообмена плазменного потока со стенками канала реактора расчетной зависимости, полученной авторами для реальных условий образования борида и карбида хрома в плазменном реакторе, не учитываемых известными уравнениями [1]: промышленный уровень мощности реактора – 150 кВт; трехструйный вариант камеры смешения с углом наклона плазменных струй 30°, обеспечивающий вынужденную турбулизацию плазменного потока; футеровка канала реактора толщиной 0,005 м из диоксида циркония, снижающая теплоотдачу от плазменного потока на 20 %; введение в плазменный поток разнообразного по фазовому составу, дисперсности и теплофизическим свойствам высокодисперсного сырья (хрома, оксида и хлорида хрома (III)), пиролизического углерода; расходная массовая концентрация высокодисперсного сырья 0,12 кг/кг, близкая к максимальной и снижающая теплоотдачу от плазменного потока на 15 %. Уравнение имеет вид

$$St = (0,524 \pm 0,125) Re_{f,x}^{-0,424 \pm 0,098} \cdot Pr_{f,x}^{-0,05},$$

где St , Re и Pr – числа Стентона, Рейнольдса и Прандтля; x и f – индексы, соответствующие среднемассовой температуре потока и осевой координате.

Компьютерное моделирование обеспечивает при заданных характеристиках сырья, геометрических характеристиках и параметрах работы реактора расчет расстояния, которое частица пролетает в реакторе, продолжительности «жизни» частиц, температуры плазменного потока, частицы и стенки канала реактора, скорости плазменного потока и частицы, степени испарения частиц, доли энергии, переданной газом стенке реактора, частицам и оставшейся в потоке.

Результаты численного расчёта параметров эффективной переработки хромсодержащего сырья

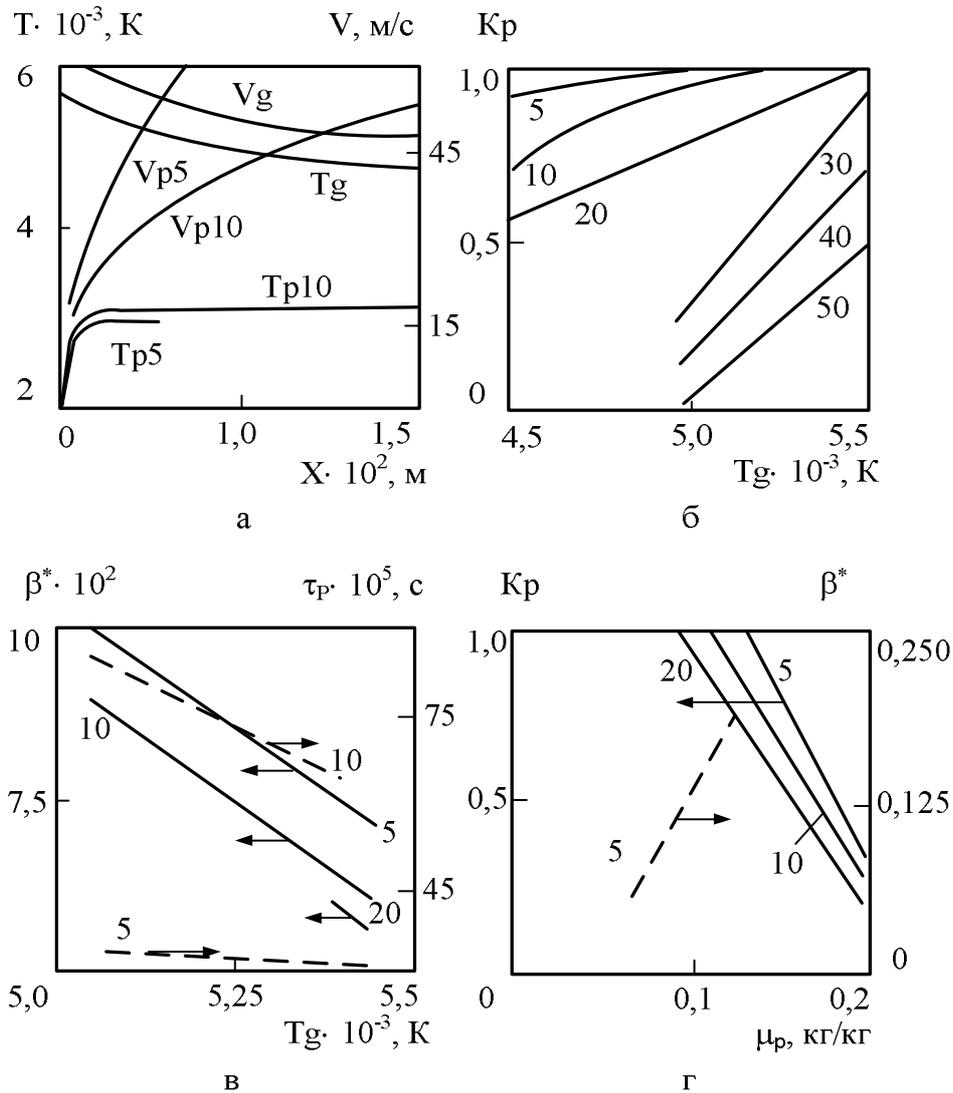
Для прогнозирования характеристик сырья, предлагаемого к использованию при плазменном синтезе борида и карбида хрома, и оценки гидродинамических и энергетических режимов его эффективной переработки проведено модельно-математическое исследование влияния на степень испарения начальной температуры плазменного потока, крупности сырья и массовой расходной концентрации. Необходимые для расчётов данные взяты из [4-6] и представлены в таблице. Результаты исследования приведены на рисунках 1 – 3 (T_g и V_g – среднемассовая температура и скорость плазменного потока; T_p и V_p – температура и скорость частицы; β^* – доля энергии, переданной частице плазменным потоком; τ_p – время жизни частицы; μ_p – массовая расходная концентрация сырья в плазменном потоке; N – мощность, подведенная к реактору; K_p – степень испарения частицы). Исследования проводились для следующих режимов работы трёхструйного реактора: подведённой мощности 75 кВт и массовых расходов плазмообразующего и транспортирующего газа (азота), составляющих $9 \cdot 10^{-3}$ и $1 \cdot 10^{-3}$ кг/с соответственно.

Таблица – Теплофизические свойства хрома и его соединений

Вещество	Cr	Cr ₂ O ₃	CrCl ₃
Температура плавления, К	2176	2553	1425
Температура кипения, К	2950	3273	1573
Теплота плавления, кДж/моль	21	105	237,8
Теплота испарения, кДж/моль	342	478	272
Теплоёмкость – C_p , Дж/(моль·К)	23,550 T = 298÷2950 К	135,570 T = 298÷1800 К	90,146 T = 298÷1573 К
Теплопроводность – λ , Вт/(м·К)	T=300 К	93,9	5,19
	T=573 К	–	3,48
	T=773 К	–	2,93
	T=973 К	–	2,57
	T=1173 К	–	2,22

Анализ результатов расчёта движения и нагрева частиц оксида хрома (III) показывает (рисунок 1), что рабочие параметры реактора обеспечивают полное испарение частиц крупностью от 5 до 20 мкм, причём взаимодействие частиц с потоком происходит в условиях сопоставимых скоростей, составляющих для частиц размером 5 мкм 32-60 м/с, а 10 мкм – 28-55 м/с за время соответственно $15 \cdot 10^{-5}$ - $18 \cdot 10^{-5}$ и $54 \cdot 10^{-5}$ - $85 \cdot 10^{-5}$ с (рисунок 1 а, в). Следует отметить, что увеличение до определённого уровня массовой расходной концентрации оксида не влияет на степень его испарения. Максимальная расходная концентрация, при которой возможна полная переработка Cr₂O₃, составляет 0,1 кг/кг для частиц крупностью 20 мкм, 0,12 кг/кг для 10 мкм и 0,135 кг/кг для 5 мкм (рисунок 1 г). При этом оптимальная загрузка реактора позво-

ляет увеличить долю энергии, переданную частицам, т.е. тепловой КПД потока, например, для частиц 5 мкм с 0,075 до 0,18 и снизить удельные энергозатраты с 3,14 до 2,43 кВт·ч/кг оксида хрома

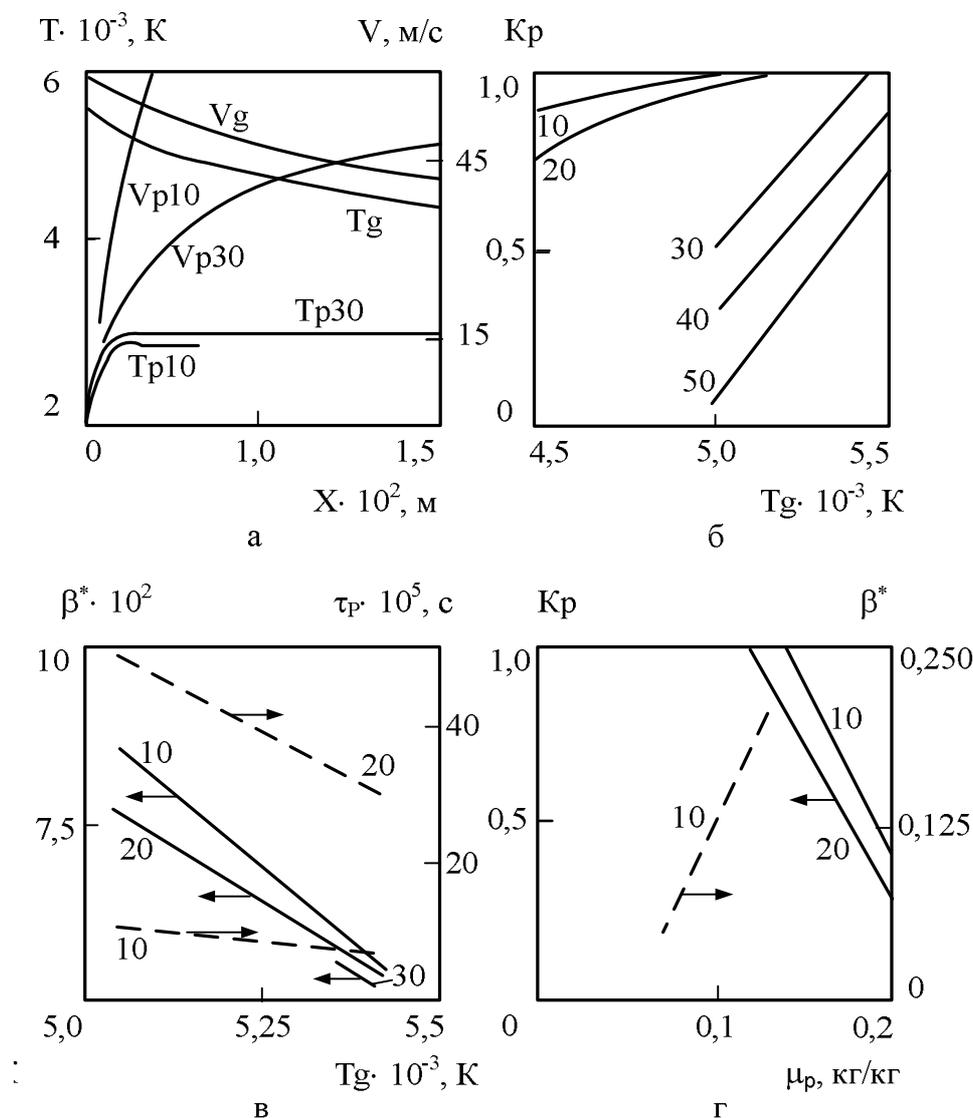


a – изменение среднемассовой температуры и скорости плазменного потока и частиц по длине реактора ($N=75$ кВт, $G_g=9 \cdot 10^{-3}$ кг/с); *б* – влияние начальной температуры плазменного потока на степень испарения частиц; *в* – влияние начальной температуры плазменного потока на долю энергии (β^*), переданной частицам, и время их «жизни» ($\mu_p=0,071$ кг/кг); *г* – влияние массовой расходной концентрации на степень испарения частиц и долю энергии, переданной частицам ($N=75$ кВт, $G_g=9 \cdot 10^{-3}$ кг/с). 5,10,20,30,40,50 – размер частиц, мкм

Рисунок 1 – Гидродинамические и энергетические режимы переработки оксида хрома (III) в трёхструйном прямоточном реакторе

Расчёты показали, что изменение скорости подачи порошка Cr_2O_3 с 1 до 3 м/с практически не приводит к изменению гидродинамической обстановке в потоке, а, следовательно, не оказывает влияние на межкомпонентный теплообмен. При использовании в качестве сырья порошка металлического хрома оптимальное по сравнению с оксидом сочетание теплофизических характери-

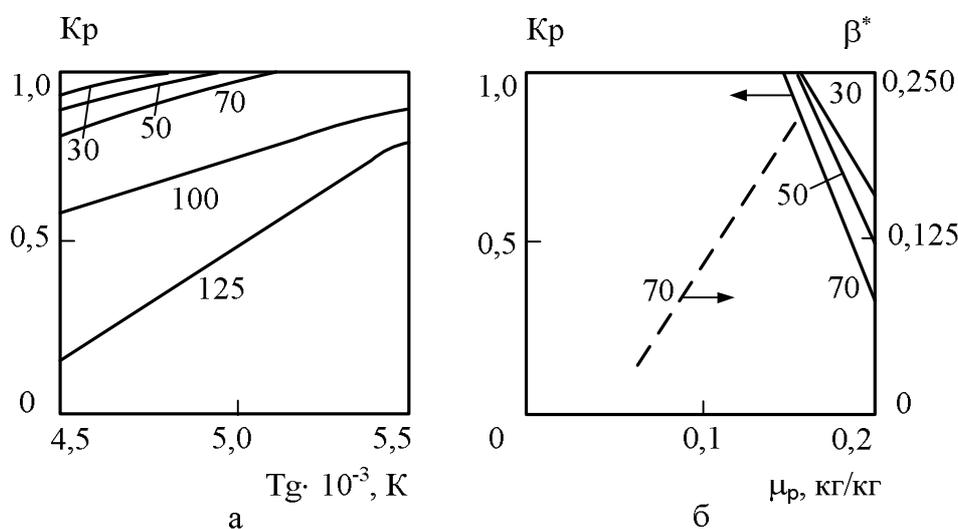
стик, в первую очередь коэффициента теплопроводности и теплоты испарения, обуславливает возможность переработки с приемлемой (0,12–1,14 кг/кг) для технологического процесса расходной концентрацией частиц крупностью 10-30 мкм (рисунок 2).



a – изменение среднемассовой температуры и скорости плазменного потока и частиц по длине реактора ($N=75$ кВт, $G_g=9 \cdot 10^{-3}$ кг/с); *б* – влияние начальной температуры плазменного потока на степень испарения частиц; *в* – влияние начальной температуры плазменного потока на долю энергии, переданной частицам, и время их «жизни» ($\mu_p=0,071$ кг/кг); *г* – влияние массовой расходной концентрации на степень испарения частиц и долю энергии, переданной частицам ($N=75$ кВт, $G_g=9 \cdot 10^{-3}$ кг/с)
 Рисунок 2 – Гидродинамические и энергетические режимы переработки хрома в трёхструйном прямоточном реакторе

При этом тепловой КПД потока для частиц крупностью 10 мкм достигает 0,20. Установленные закономерности не зависят от начальной скорости частиц при изменении её в пределах 1-3 м/с. При переработке в плазменном потоке азота трихлорида хрома, возгоняющегося уже при температуре 1200-1225 К, рабочие параметры реактора обеспечивают полное испарение частиц

крупностью 30-70 мкм при массовой расходной концентрации 0,144 кг/кг для 70 мкм и 0,16 кг/кг для 30-50 мкм (рисунок 3). Тепловой КПД потока для частиц 70 мкм достигает при этом 0,21.



а – влияние начальной температуры плазменного потока на степень испарения частиц; *б* – влияние массовой расходной концентрации на степень испарения частиц и долю энергии, переданной частицам

Рисунок 3 – Энергетические режимы переработки хлорида хрома (III) в трёхструйном прямоточном реакторе: ($N=75$ кВт, $G_g=9 \cdot 10^{-3}$ кг/с)

Проведённое модельно-математическое исследование взаимодействия дисперсного сырья с плазменным потоком азота позволяет сформулировать требования к крупности исходных материалов для синтеза борида и карбида хрома в трёхструйном плазменном реакторе. При подводимой к реактору мощности 75 кВт возможна полная переработка частиц оксида хрома (III) размером не более 20 мкм, хрома не более 30 мкм, хлорида хрома (III) не более 70 мкм. Этим требованиям соответствуют хром металлический марки ПХ-1М (ТУ 14-1-1474-75, изм.), поставляемый в виде порошка крупностью -10 мкм, оксид хрома (Cr_2O_3) металлургический марки ОХМ-0 (ГОСТ-2912-79, изм.), поставляемый в виде порошка крупностью -5 мкм, и хром хлористый (ТУ 6-09-02-269-77, изм.), поставляемый в виде порошка крупностью -70 мкм.

Выводы. Проведено модельно-математическое исследование взаимодействия дисперсного хромсодержащего сырья с высоконагретым потоком газа в плазменном реакторе. Рассчитана степень испарения сырья для синтеза борида и карбида хрома в зависимости от крупности, скорости ввода в плазменный поток, массовой расходной концентрации, энергетических параметров реактора. Установлено, что при подводимой к реактору мощности 75 кВт достигается 100 %-ная степень испарения частиц хрома крупностью не более

30 мкм, оксида хрома (III) не более 20 мкм, хлорида хрома (III) не более 70 мкм. На основании полученных результатов выбраны сырьевые материалы для синтеза бориды и карбида хрома.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моссэ А.Л. Обработка дисперсных материалов в плазменных реакторах / А.Л. Моссэ, И.С. Буров. – Минск: Наука и техника, 1980. – 208 с.

2. Руднева В.В. Компьютерное моделирование режимов эффективной переработки дисперсного сырья в плазменном реакторе / В.В. Руднева, Г.В. Галевский, Е.К. Юркова // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: тр. VI Всерос. научн.-практ. конф. – СибГИУ. –Новокузнецк, 2007. – С. 343–346.

3. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве карбида кремния : монография: в 3 т. / науч. ред. Г.В. Галевский : дополнительный том. Плазменно-металлургическое производство карбида кремния : развитие теории и совершенствование технологии / В.В. Руднева. – М. : Флинта : Наука, 2008. – 387 с.

4. Свойства элементов: справочник в двух частях. Ч.1. Физические свойства / Под ред. Г.В. Самсонова. – М. : Metallurgia, 1976. – 600 с.

5. Самсонов Г.В. Физико-химические свойства окислов : справочник / Г.В. Самсонов [и др.]. – М. : Metallurgia, 1978. – 472 с.

6. Фурман А.А. Неорганические хлориды / А.А. Фурман. – М. : Химия, 1980. – 416 с.

ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ

УДК 669.017:669.017:538.9

В.В. Коваленко, В.Е. Громов

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

ФОРМИРОВАНИЕ МОНОТОННОГО ГРАДИЕНТА КРИВИЗНЫ – КРУЧЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ АУСТЕНИТНОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ В ПРОЦЕССЕ МНОГОЦИКЛОВЫХ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Методом электронной дифракционной микроскопии установлен градиентный характер амплитуды кривизны – кручения кристаллической решетки в аустенитной стали 08X18N10T в процессе многоциклового усталости.

The formation of far action stress fields in an austenitic 08Kh18N10T steel during multi cycle fatigue is studied by transmission electron microscopy, and gradient character of bending-torsion amplitude is established.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г.» (госконтракт П332)

В материаловедении термин градиентные структуры возник во второй половине XX века, когда началось интенсивное количественное изучение таких структур. Оно стало возможным в связи с широким применением методов физического материаловедения при исследовании фазового состава и дефектной субструктуры металлов и сплавов, металлокерамических и керамических материалов. Эти методы позволили на качественном и количественном уровнях анализировать состояние материала тонких слоев, локализованных на определенных, строго контролируемых расстояниях от свободной поверхности или от поверхности раздела в объеме. Последнее привело к выявлению и измерению параметров, характеризующих структуру материала, меняющихся с удалением от определенной поверхности. Наличие количественных закономерностей, изменяющихся определенным образом по мере удаления от границ раздела различного типа, позволило обосновать необходимость введения термина «градиентные структуры» (градиентные структурно-фазовые состояния, ГСФС) для более полного определения состояния материала.

Градиентные структуры делятся на непрерывные (плавное, монотонное изменение параметров), дискретные (скачкообразное изменение параметров), смешанные (оба случая одновременно). При этом надо иметь в виду, что амплитуды изучаемых характеристик материала могут возрастать, убывать и колебаться.

Рассмотрим проявление непрерывных градиентов на примере характеристик, иллюстрирующих поля напряжений, формирующихся в объеме зерна.

Методами электронной дифракционной микроскопии тонких фольг поля напряжений (дальнодействующие поля напряжений) выявляются по наличию изгибных экстинкционных контуров, указывающих на изгиб-кручение кристаллической решетки материала.

Изгиб кристаллической решетки материала может быть различным. Во-первых, чисто упругим, создаваемым полями напряжений, накопленными из-за несовместности деформации, например, зерен поликристалла, пластичного материала с недеформируемыми частицами. Источниками полей напряжений упругого происхождения, которые возникают в основном при неоднородной деформации материала, являются стыки и границы зерен поликристаллов, дисперсные недеформируемые частицы, в некоторых случаях – трещины. Во-вторых, пластическим, если изгиб создается дислокационными зарядами, т.е. избыточной плотностью дислокаций, локализованной в некотором объеме материала. В-третьих, упруго-пластическим, когда в материале присутствуют оба источника полей. Примеры, иллюстрирующие источники полей напряжений и их проявление на электронно-микроскопических изображениях структуры материала, приведены на рисунке 1.

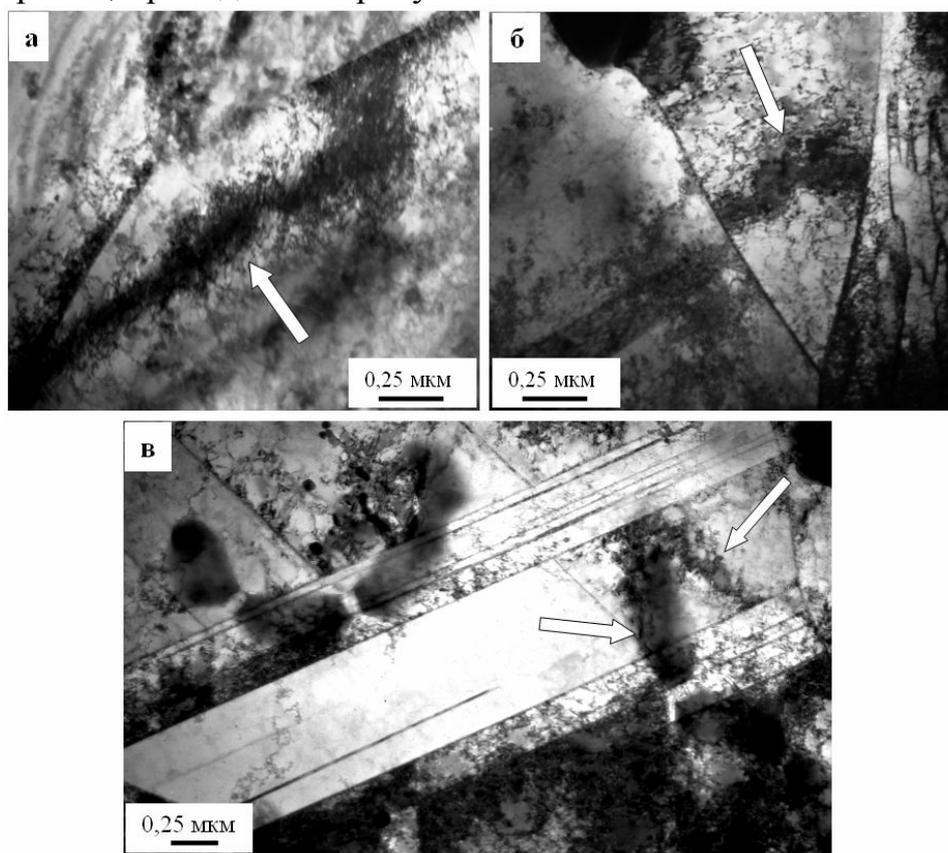


Рисунок 1 – Электронно-микроскопическое изображение структуры стали 08X18H10T, разрушенной в результате многоцикловых усталостных испытаний (стрелками указаны изгибные экстинкционные контуры)

Проведенные в настоящей работе исследования показали, что основными источниками кривизны-кручения кристаллической решетки конструкционной стали (источниками дальнодействующих полей напряжений) являются

частицы карбидной фазы (рисунок 2 в), границы (рисунок 2 б) и стыки границ (рисунок 2 а) зерен.

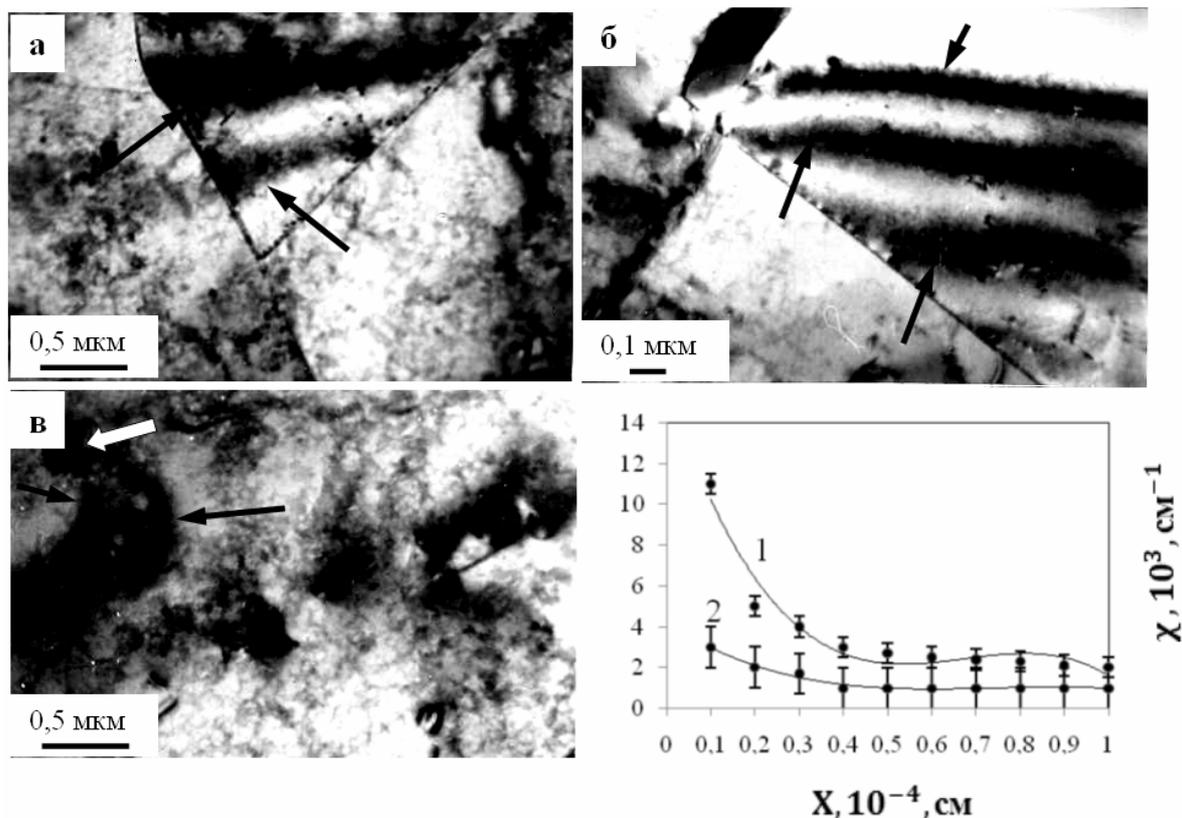


Рисунок 2 – Электронно-микроскопическое изображение структуры стали (стрелками указаны изгибные экстинкционные контуры, наблюдающиеся вблизи стыков границ (а), границ (б) зерен и (в) частиц карбидной фазы, исходное состояние, черными стрелками указаны изгибные экстинкционные контуры, светлой стрелкой – частица карбидной фазы; ε – градиент кривизны-кручения кристаллической решетки стали, формируемого частицей карбидной фазы, расположенной в объеме зерна (кривая 1) и на границе зерна (кривая 2))

При этом наиболее высокие значения амплитуды кривизны-кручения кристаллической решетки стали χ фиксируются вблизи частиц карбидной фазы, расположенных в объеме зерен ($\chi \sim 3,4 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$). Существенно меньше значения амплитуды кривизны-кручения кристаллической решетки исследуемой стали вблизи границ и стыков границ зерен ($\chi \sim 8,5 \cdot 10^2 \text{ см}^{-1}$). По мере удаления от источника напряжений кривизна-кручение кристаллической решетки снижается (рисунок 2 з). Последнее однозначно свидетельствует о градиентном характере изменения кривизны-кручения кристаллической решетки стали.

При этом наиболее высокие значения амплитуды кривизны-кручения кристаллической решетки стали χ фиксируются вблизи частиц карбидной фазы, расположенных в объеме зерен ($\chi \sim 3,4 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$). Существенно меньше значения амплитуды кривизны-кручения кристаллической решетки исследуемой стали вблизи границ и стыков границ зерен ($\chi \sim 8,5 \cdot 10^2 \text{ см}^{-1}$). По мере уда-

ления от источника напряжений кривизна-кручение кристаллической решетки снижается (рисунок 2 *з*). Последнее однозначно свидетельствует о градиентном характере изменения кривизны-кручения кристаллической решетки стали.

Учитывая, что и при упругом, и при пластическом изгибе кристаллической решетки стали амплитуда дальнедействующих полей напряжений прямо пропорциональна величине кривизны-кручения кристаллической решетки χ , можно сказать, что наиболее напряженными участками изучаемой стали являются объемы зерен, содержащие частицы карбидной фазы, и, следовательно, данные объемы стали при внешнем воздействии будут являться потенциальными источниками микротрещин.

Деформация стали и последующее ее разрушение сопровождается формированием микро- и макротрещин. Электронно-микроскопические исследования стали методом тонких фольг позволяют анализировать дальнедействующие поля напряжений, формирующиеся и микротрещинами. Изучение различных данных электронной микроскопии стали, так же как и микрофотографий структуры, приведенных на рисунках 1 и 2, позволяют сделать вывод о закономерном изменении величины дальнедействующих полей напряжений по мере удаления от источника данных полей.

Таким образом, дальнедействующие поля напряжений, формирующиеся в стали и, несомненно, в любых кристаллических телах, имеют градиентный характер. Последнее выражается в снижении величины амплитуды поля напряжений по мере удаления от источника кривизны-кручения кристаллической решетки материала, что визуально выражается в закономерном увеличении поперечных размеров изгибных экстинкционных контуров.

УДК 538.9

Е.С. Ващук, Е.А. Будовских, В.Е. Громов

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

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ 45 ПРИ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОМ БОРОМЕДНЕНИИ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКЕ

Методами измерения износостойкости и микротвердости, рентгеноструктурного анализа, световой и сканирующей электронной микроскопии изучены особенности поверхности стали 45 после комбинированной обработки, включающей электровзрывное боромеднение и последующую импульсно-периодическую электронно-пучковую обработку в различных режимах. Показано, что обработка приводит к формированию слоистой структуры поверхностных слоев зоны упрочнения и увеличению износостойкости и микротвердости поверхностных слоев в 5–7 раз.

By methods of measurement of wear resistance and microhardness, the X-ray analysis, light and scanning electronic microscopy features of a surface of steel 45 after the combined processing including electroexplosive borocoppering and after subsequent electron beam treatment in various modes are investigated. It is shown, that treatment results in formation of layered structure of superficial layers of a zone of hardening and increase of wear resistance and microhardness of superficial layers up to 5–7 times.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (гос. контракт № 14.740.12.0858) и грантами РФФИ №№ 11-02-91150-ГФЕН_a и 11-02-12091-офи-м-2011

Одним из новых методов упрочнения металлов и сплавов является электровзрывное легирование (ЭВЛ) [1], заключающееся в электрическом взрыве проводников, формировании из продуктов взрыва многофазной плазменной струи, оплавлении ею облучаемой поверхности и насыщении расплава продуктами взрыва с последующей самозакалкой. Важная особенность ЭВЛ состоит в том, что источником легирующих элементов является сама плазменная струя, а также частицы порошков различных веществ, вводимых в область взрыва. Широкий выбор материалов проводников и порошковых навесок позволяет осуществлять различные виды легирования и обуславливает большие перспективы практического использования метода.

Импульсный характер ЭВЛ приводит к формированию резких градиентов структуры, фазового состава и свойств по глубине зоны легирования и на

границе с зоной термического влияния и вызывает незавершенность структурно-фазовых превращений. Дальнейшее развитие метода для улучшения эксплуатационных свойств возможно при сочетании ЭВЛ с последующей электронно-пучковой обработкой (ЭПО), вызывающей переплавление поверхности легирования [2]. ЭВЛ и ЭПО имеют сопоставимые значения поглощаемой плотности мощности, глубины и диаметра зоны воздействия на поверхность. Настоящая работа посвящена выявлению закономерностей формирования структурно-фазовых состояний поверхностных слоев стали 45 при электровзрывном боромеднении и последующей электронно-пучковой обработке с целью повышения физико-механических свойств.

Образцы стали с феррито-перлитной структурой имели толщину 3 и диаметр 18 мм. Взрывающиеся медные фольги имели массу 35, 70 и 100 мг, а порошковые навески аморфного бора, которые размещали в области взрыва, – 20 и 60 мг. Анализ поверхностных слоев после электровзрывного боромеднения проводили в случае, когда отношение n атомных концентраций бора и меди в струе было равно 1,2, 1,6, 3,4 и 3,5.

ЭВЛ проводили на лабораторной установке ЭВУ 60/10 [1] при поглощаемой плотности мощности q_p , равной 5,5, 6,5, 7,5 и 8,6 ГВт/м², и длительности импульса 100 мкс. Последующую ЭПО поверхности легирования осуществляли на установке Института сильноточной электроники СО РАН «Соло» [3] при следующих основных параметрах: поглощаемая плотность мощности $q_e = 2,0, 2,5$ и $3,0$ ГВт/м², длительность импульсов $\tau = 100, 200$ мкс; частота следования импульсов $f = 0,3$ Гц; их число $N = 5$ и 10 . Обработку осуществляли в среде аргона рабочей камеры при давлении 0,02 Па.

Исследования структуры упрочненных слоев проводили с использованием методов световой (металлографический микроскоп Olympus GX 51) и электронной сканирующей (Carl Zeiss EVO50) микроскопии, рентгеноспектрального микроанализа (микроанализатор EDS X-Act), оптической интерферометрии (Zygo NewView™ 7300), рентгеноструктурного анализа (дифрактометр ARL X'TRA). Микротвердость определяли с использованием прибора HVS-1000A. Экспресс-испытания на износостойкость проводили в условиях сухого трения скольжения.

Исследования методами световой микроскопии показали, что после ЭВЛ на поверхности формируется рельеф, обусловленный радиальным течением расплава из центра зоны легирования к периферии (рисунок 1, а).

Сканирующая электронная микроскопия при различных увеличениях показала, что на поверхности зоны легирования формируется покрытие с высокоразвитым рельефом, образованным конденсированными частицами продуктов взрыва фольги и бора (рисунок 2).

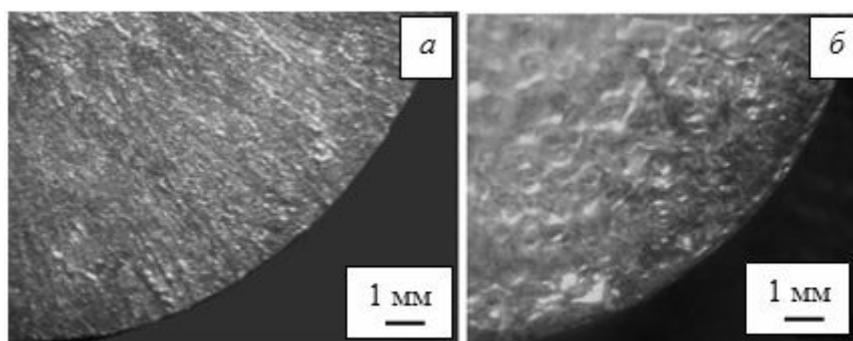


Рисунок 1 – Структура поверхности зоны электровзрывного боромеднения до (а) и после электронно-пучковой обработки (б). Световая микроскопия

Самыми крупными элементами рельефа поверхности являются отдельно отстоящие друг от друга сравнительно гладкие области, образованные при взаимодействии с каплями, которые располагаются в тылу формируемой многофазной плазменной струи. Сталкиваясь с поверхностью уже после ее кристаллизации, они деформируются и растекаются вдоль нее (рисунок 2, а). В некоторых местах поверхности капли перекрываются друг другом, образуя пористую структуру (рисунок 2, а, б). На поверхности областей, образованных каплями, различаются отдельные мелкие частицы глобулярной формы (рисунок 2, в), которые могут представлять собой частицы бора, провзаимодействовавшие с медью в процессе формирования струи. Их размеры достигают 5...10 мкм. На участках поверхности, свободных от неоднородного по толщине медного покрытия с частицами бора, различимы отдельные микротрещины (рисунок 2, б). Их происхождение можно объяснить действием термических напряжений, возникающих в условиях градиентов температуры как по глубине зоны легирования, так и вдоль поверхности вследствие конденсации на ней частиц из тыла струи.

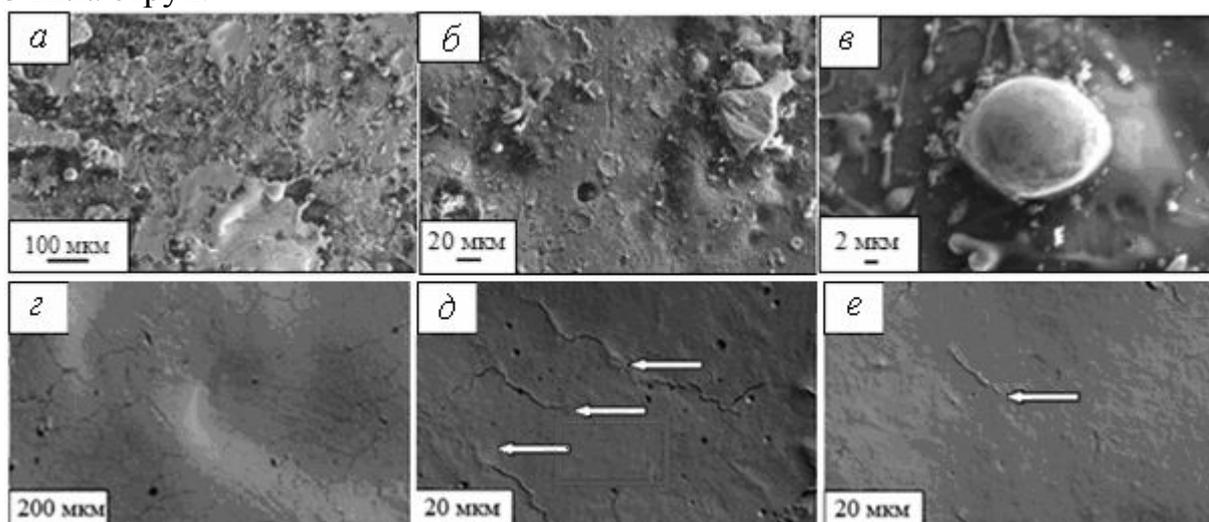


Рисунок 2 – Рельеф поверхности, выявляемый после ЭВЛ при $q_p = 8,6 \text{ ГВт/м}^2$ при различных увеличениях (а, б, в) и последующей ЭПО при $q_e = 3,0$ (г), 2,0 (д) и 3,0 (е) ГВт/м^2 . Стрелками на д и е показаны залеченные микротрещины. Сканирующая электронная микроскопия

ЭПО при всех выбранных режимах сопровождается повсеместным плавлением поверхности (рисунок 2, *з*, *д*, *е*) и объединением покрытия с нижележащей зоной легирования. Релаксация термических напряжений, возникающих в поверхностном слое в результате импульсного характера обработки, приводит к формированию на поверхности микротрещин, которые разбивают ее на фрагменты с размерами от 30 до 60 мкм (рисунок 2, *з*). В некоторых местах наблюдается залечивание микротрещин, образовавшихся после предыдущего импульса обработки (рисунок 2, *д*, *е*).

После ЭПО следы радиального течения исчезают, при этом наблюдается образование кратеров (рисунок 2, *б*). Параметры ЭПО влияют на размеры кратеров. При увеличении поглощаемой плотности мощности и времени импульсов параметр шероховатости Ra и глубина кратеров уменьшается, а их диаметр d увеличивается (рисунок 3). При увеличении числа импульсов увеличивается Ra и незначительно увеличивается d .

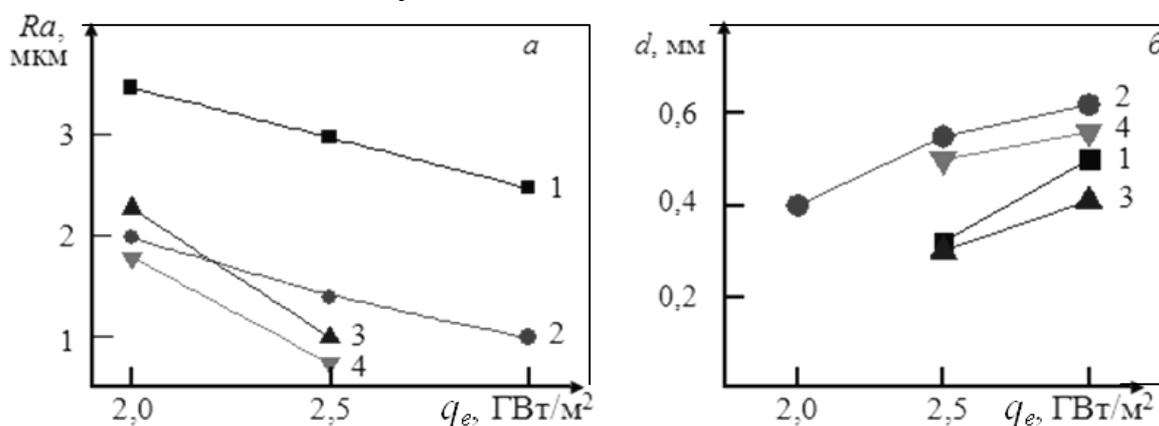


Рисунок 3 – Зависимость параметра шероховатости Ra (*а*) и диаметра кратеров d (*б*) от поглощаемой плотности мощности q_e после ЭПО при $\tau = 100$ мкс, $N = 10$ имп. (1), $\tau = 200$ мкс, $N = 10$ имп. (2), $\tau = 100$ мкс, $N = 5$ имп. (3), $\tau = 200$ мкс, $N = 5$ имп. (4)

Исследования при большом увеличении показали, что ЭПО приводит к формированию на поверхности структуры дендритной и ячеистой кристаллизации (рисунок 4). При $q_e = 2,0$ и $2,5$ ГВт/м² и $\tau = 100$ и 200 мкс количество зерен с дендритной кристаллизацией заметно больше, чем с ячеистой, а при $q_e = 3,0$ ГВт/м² формируется только структура дендритной кристаллизации. С ростом q_e и τ среднее расстояние λ_l между ячейками и осями первого порядка дендритов и средний диаметр зерен D увеличиваются в 1,5...2,0 раза (рисунок 3). При $q_e = 2,0, 2,5$ и $3,0$ ГВт/м² и $\tau = 100$ мкс значения λ_l составляют 0,5, 0,66 и 1,00 мкм, а D – 5,8, 9,0 и 10,7 мкм соответственно. При тех же q_e и $\tau = 200$ мкс значения λ_l увеличиваются до 0,84, 1,18 и 1,50 мкм, а D – до 10,5, 12,8 и 13,5 мкм соответственно. При числе импульсов $N = 5$ имп., $q_e = 2,5$ и $3,0$ ГВт/м² и $\tau = 100$ мкс значения среднее расстояние λ_l между осями первого порядка дендритов составляют 0,55 и 0,68 мкм, а средний диаметр зерен D – 5,5 и 7,5 мкм соответственно. При тех же q_e и $\tau = 200$ мкс значения λ_l увели-

чиваются до 0,69 и 0,98 мкм, а D – до 8,5 и 11,3 мкм соответственно. Особенностью дендритов является то, что они имеют только слабо выраженные оси второго порядка, которые соприкасаются друг с другом. Можно отметить, что влияние параметров ЭПО на λ_I и D коррелирует с влиянием их на параметры рельефа поверхности.

Значения λ_I позволяют оценить скорость охлаждения: $(1,6, 0,9 \text{ и } 0,4) \cdot 10^5$ К/с при значениях q_e , равных 2,0, 2,5 и 3,0 ГВт/м² и $\tau = 100$ мкс соответственно. Сопоставляя их, можно отметить, что, с одной стороны, при увеличении q_e наблюдается уменьшение v . Однако, с другой стороны, при увеличении q_e увеличивается градиент температуры по глубине, и следовательно v должна возрастать. Это противоречие можно объяснить тем, что на параметры дендритов влияет не только скорость охлаждения, но и химическая неоднородность зоны легирования [4].

Рентгеноструктурный анализ поверхности стали после электровзрывного боромеднения показал наличие следующих фаз: Cu, FeB, Fe₂B, Fe₂₃(C, B)₆ и В₄С. После комбинированной обработки с ростом поглощаемой плотности мощности и уменьшением длительности импульсов наблюдается увеличение содержания метастабильной фазы Fe₂₃(C, B)₆.

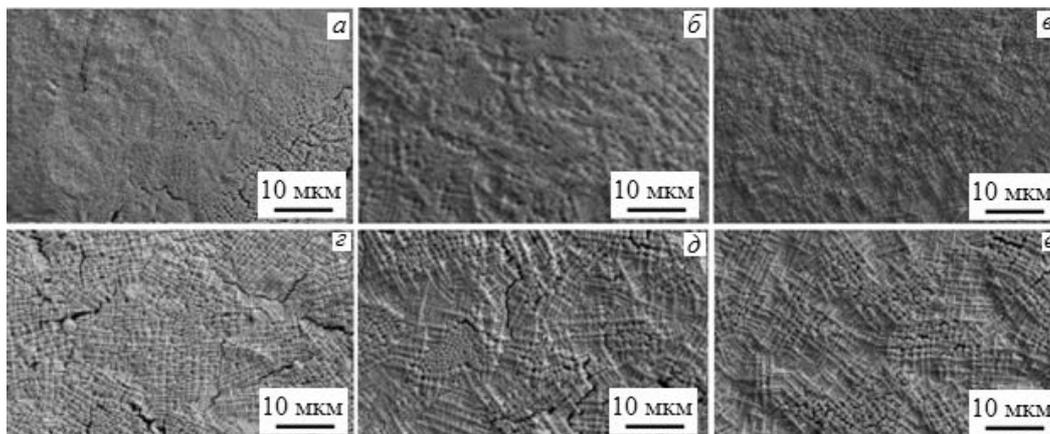


Рисунок 4 – Структура поверхности зоны легирования после электроннопучковой обработки при $q_e = 2,0$ (а), 2,5 (б) и 3,0 (в) ГВт/м², $N = 10$ имп. и $\tau = 100$ (а–в) и 200 мкс (z–e)

Световая микроскопия шлифов после химического травления показала, что при значении параметра $n = 1,2$ и $q_p = 5,5, 6,5$ и $7,5$ ГВт/м² средняя толщина зоны легирования составляет 12, 21 и 29 мкм соответственно. От основы она отделена зоной термического влияния толщиной 10 мкм, образованной зернами осветленного перлита. При $n = 3,4$ на разной глубине зоны легирования наблюдаются крупные темные включения (рисунок 5, а), которые образуются вследствие неполного смешивания расплава и внесенных в него частиц меди и бора. После комбинированной обработки промежуточный слой зоны легирования имеет зеренную структуру (рисунок 5, б, в). Крупные включения бора и меди в ней растворяются, при этом образуются отдельные микротрещины, располагающиеся по границам зерен. Это свидетельствует об

ослаблении границ зерен выделениями боридов, которые обнаруживаются в зоне легирования рентгенографически.

Фрактографические исследования изломов зоны упрочнения показали, что после ЭВЛ зона легирования разрушается по хрупкому механизму с ручьистым изломом (рисунок 6, *a*). После обработки при $q_p = 5,5 \text{ ГВт/м}^2$ общая толщина слоя хрупкого разрушения с мелкозернистой структурой составляет 8...10 мкм, что соответствует толщине зоны ЭВЛ. Вблизи поверхности выделяется тонкий слой покрытия толщиной 1...2 мкм.

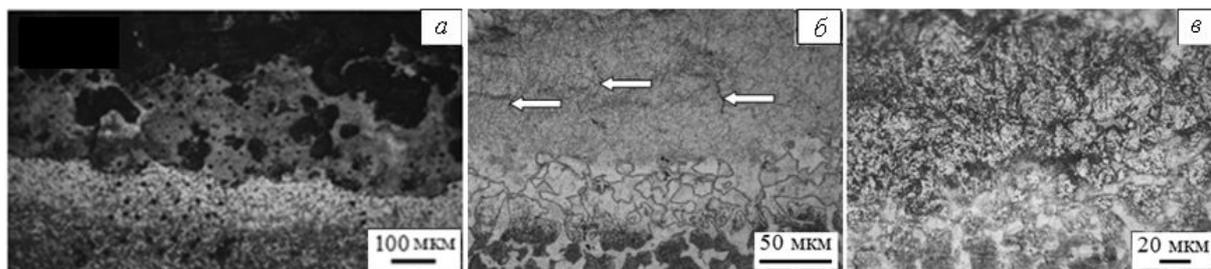


Рисунок 5 – Структура поверхности после электровзрывного боромеднения при $q_p = 6,5 \text{ ГВт/м}^2$ и $n = 3,4$ (*a*) и последующей электронно-пучковой обработки при $N = 10$ имп., $\tau = 100$ мкс, $q_e = 2,0 \text{ ГВт/м}^2$ (*б*) и $N = 10$ имп., $\tau = 200$ мкс, $q_e = 2,5 \text{ ГВт/м}^2$ (*в*). Световая микроскопия косого (*a*) и поперечных (*б, в*) шлифов

После ЭПО при $\tau = 100$ мкс средняя толщина зоны переплавления составляет 20 мкм (рисунок 6, *б, в*). Изломы имеют слоистое строение, в котором можно выделить несколько слоев. Тонкий приповерхностный слой с мелкозернистой структурой имеет толщину около 3 мкм, поверхностный слой с размером зерен 0,5...1,5 мкм – 7 мкм. Промежуточный слой толщиной 10 мкм имеет ручьистое строение, которое характерно для хрупкого разрушения. Под ним располагается слой зоны термического влияния толщиной 6 мкм с вязким изломом, ямки которого меньше, чем в основе. В некоторых местах (рисунок 6, *в*) зона упрочнения отслаивается от основы, что указывает на высокий уровень остаточных напряжений, действующих на границе раздела после обработки. После ЭПО при $\tau = 200$ мкс также наблюдается слоистая структура излома (рисунок 6, *з*). Приповерхностный слой толщиной 6 мкм и поверхностный слой толщиной 10 мкм имеют мелкозернистую структуру, промежуточный слой толщиной 20 мкм разрушается по механизму ручьистого излома. Зона термического влияния толщиной 5 мкм имеет вязкий излом. Отслоения модифицированных слоев от основы не наблюдается.

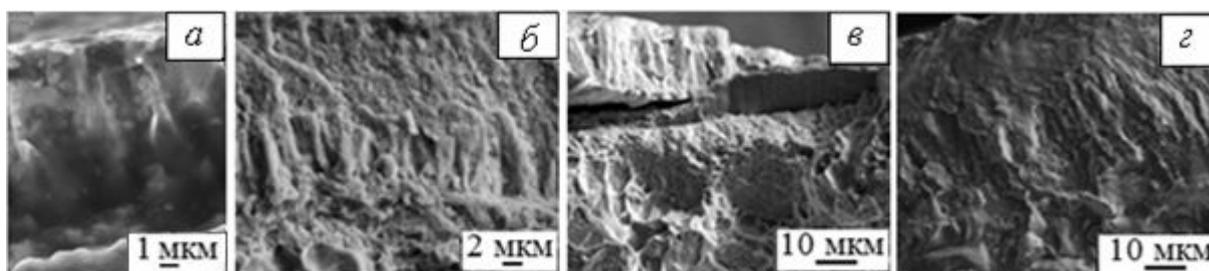


Рисунок 6 – Структура поверхности излома после электровзрывного боромеднения (а) и электронно-пучковой обработки при б, в – $q_e = 2,5 \text{ ГВт/м}^2$, $\tau = 100 \text{ мкс}$, $N = 10 \text{ имп.}$, г – $q_e = 3,0 \text{ ГВт/м}^2$, $\tau = 200 \text{ мкс}$, $N = 10 \text{ имп.}$ (сканирующая электронная микроскопия)

Испытания на износостойкость зоны упрочнения после комбинированной обработки показали, что при $\tau = 100 \text{ мкс}$, $N = 10 \text{ имп.}$ и $q_e = 2,0 \text{ ГВт/м}^2$ она увеличивается по сравнению с основой в 1,7 раза, а при $q_e = 2,5$ и $3,0 \text{ ГВт/м}^2$ – в 2 раза. При $\tau = 200 \text{ мкс}$ износостойкость поверхности при $q_e = 2,0$, $2,5$ и $3,0 \text{ ГВт/м}^2$ увеличивается в 1,7, 1,5 и 1,8 раз соответственно, что несколько меньше, чем при $\tau = 100 \text{ мкс}$. Это коррелирует с увеличением параметров структуры дендритной кристаллизации, представленной на рисунке 3.

Микротвердость поверхности после электровзрывного боромеднения в исследованной области концентрации бора в струе и поглощаемой плотности мощности при плазменном воздействии увеличивается по сравнению с основой в 5...7 раз, достигая 1300 HV . При этом глубина упрочнения достигает 30 мкм. Зависимость микротвердости поверхности после электровзрывного боромеднения от поглощаемой плотности мощности может быть аппроксимирована линейной функцией. Распределение микротвердости по глубине с учетом точности измерений является монотонно падающей.

Микротвердость после комбинированной обработки при $N = 10$ на поверхности микротвердость всегда выше при $\tau = 100 \text{ мкс}$, чем при $\tau = 200 \text{ мкс}$. В первом случае она составляет $800\text{--}900 \text{ HV}$ по сравнению с $550\text{--}700 \text{ HV}$ во втором. В обоих случаях она меньше, чем сразу после ЭВЛ. В то же время с ростом q_e вблизи поверхности микротвердость уменьшается, а в глубине растет. Так, при $q_e = 2,0 \text{ ГВт/м}^2$ уровень микротвердости, равный 600 HV , при длительности импульса ЭПО 100 и 200 мкс наблюдается на глубине 75 и 20 мкм, соответственно, а при $q_e = 2,5 \text{ ГВт/м}^2$ – на глубине 25 мкм в обоих случаях. При $q_e = 3,0 \text{ ГВт/м}^2$ он наблюдается только при $\tau = 200 \text{ мкс}$ на глубине около 50 мкм. Аналогичное, но менее выраженное поведение микротвердости при изменении параметров ЭПО наблюдается и при $N = 5$.

Таким образом, электровзрывное боромеднение стали 45 приводит к формированию рельефа поверхности, обусловленного конденсацией на ней частиц продуктов взрыва медной фольги и порошка бора. В зоне легирования, толщина которой увеличивается с ростом поглощаемой плотности мощности и достигает 30 мкм, наблюдаются крупные включения бора и меди. Микротвердость поверхности после электровзрывного боромеднения в исследованной области концентрации бора в струе и поглощаемой плотности мощности

при плазменном воздействии увеличивается по сравнению с основой в 5...7 раз, достигая 1300 *HV*, и монотонно падает по глубине. Повышение микротвердости происходит вследствие формирования градиентной мелкодисперсной структуры, включающей бориды FeB, Fe₂B, Fe₂₃(C, B)₆, V₄C. Последующая электронно-пучковая обработка приводит к выравниванию рельефа поверхности зоны легирования, образованию на ней сетки трещин, выравниванию неоднородностей структурно-фазового состояния, формированию поверхностного слоя с дендритной структурой. Увеличение плотности мощности и времени импульсов электронного пучка приводит к росту размеров междендритных промежутков и диаметра зерен поверхностного слоя. Микротвердость и износостойкость поверхностных слоев после комбинированной обработки в условиях истирания без смазки увеличивается в 5–7 раз по сравнению с основой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физические основы электровзрывного легирования металлов и сплавов / А.Я. Багаутдинов, Е.А. Будовских, Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2007. – 301 с.

2. Формирование структурно-фазовых состояний металлов и сплавов при электровзрывном легировании и электронно-пучковой обработке / Под ред. В.Е. Громова. – Новокузнецк: Изд-во «Интер-Кузбасс», 2011. – 212 с.

3. Иванов Ю.Ф., Коваль Н.Н. Низкоэнергетические электронные пучки субмиллисекундной длительности: получение и некоторые аспекты применения в области материаловедения // Структура и свойства перспективных металлических материалов / Под общ. ред. А.И. Потекаева. – Томск: Изд-во НТЛ, 2007. С. 345–382.

4. Особенности влияния электронно-пучковой обработки на поверхность стали 45 после электровзрывного боромеднения / Е.С. Вашук, Е.А. Будовских, В.Е. Громов и др. // Обработка металлов. – 2011. – № 3 (52). – С. 69–72.

УДК 669.017:669.017:538.9

В.В. Коваленко, В.Е. Громов

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

ЭВОЛЮЦИЯ И ФРАГМЕНТАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПЛАСТИНЧАТОГО ПЕРЛИТА В ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В ПРОЦЕССЕ ПРОКАТКИ

Методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии тонких фольг выполнен анализ формирования градиента в прокатных валках из стали 9ХФ с исходной структурой пластинчатого перлита при эксплуатации.

The gradient formation in steel 9HF plate rools with the initial perlite structure after service is carried out by the methods of transmission electron diffraction microscopy.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента РФ по поддержке молодых российских ученых-кандидатов наук и их научных руководителей (шифр МК-3830.2004.8) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013г.» (госконтракт П332)

В результате различных способов воздействия, таких как ковка, прокатка, волочение, штамповка и прочие, в материале образуются неоднородные структуры, называемые градиентными [1 - 3]. В этих структурах по мере удаления от поверхности изменяются такие параметры, как: плотность дефектов, их организация, размеры и тип фрагментов. Одновременно в этом же направлении изменяется концентрация легирующих элементов и примесей, что влечет за собой изменение фазового состава, списка присутствующих фаз и их морфологии. При этом будут изменяться эксплуатационные и технологические характеристики, такие как прочность и пластичность, внутренние поля напряжения и плотность трещин и пр.

Структура стали в центральной части валка – пластинчатый перлит, представляющий собой конгломерат чередующихся прямолинейных пластин цементита (карбида железа Fe_3C) и феррита (α -фазы). Колонии перлита имеют небольшую скалярную плотностью дислокаций в феррите ($\sim 0,6 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$) и практически полное отсутствие ее в цементите. Кроме цементита в стали присутствует карбид M_6C в виде отдельных округлых частиц, имеющих средний размер $\sim 0,7$ мкм.

Пластическая деформация валка, приведшая к отколу исследуемой части образца, привела к искривлению и частичному разрушению перлитных колоний. Причем, чем ближе к поверхности образца, тем сильнее искривление колоний. Значительно возросла скалярная плотность дислокаций в α -фазе. Нако-

пление дислокаций повлекло за собой их перераспределение и, как следствие, фрагментацию материала, т.е. образование разориентированных объемов, разделенных границами дислокационного типа. В исследуемой стали наблюдается два типа фрагментации - первичная и вторичная. При первичной фрагментации структура перлитных колоний в основном сохраняется. На фоне возросшей плотности дислокаций наблюдаются достаточно четкие границы, ориентированные в основном поперек ферритных пластин. Фрагменты имеют четко выраженную анизотропную форму. Они удлинены вдоль оси перлитной колонии. Ширина их равна поперечному размеру пластины α -фазы. Длинными границами фрагментов являются межфазные границы « α -матрица – цементит», существовавшие еще в стали в исходном состоянии. Практически под прямым углом к ним располагаются короткие границы. Находятся они внутри прослоек α -фазы и имеют дислокационную природу. На рисунке 1а представлено изображение первично фрагментированного перлита, а на рисунке 1б – его схема.

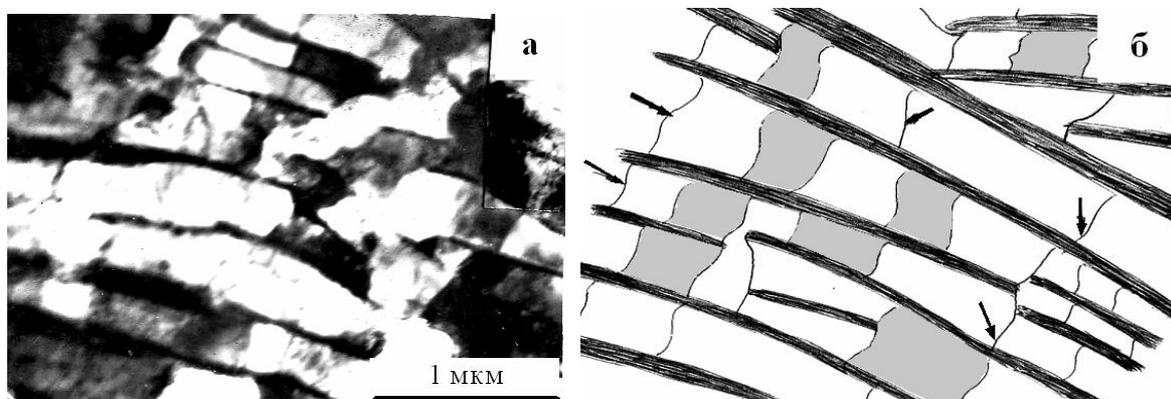


Рисунок 1 – Электронно-микроскопическое (а) и схематическое (б) изображение первично фрагментированного перлита в стали 9ХФ после холодной прокатки (стрелками на схеме отмечены границы первичных фрагментов)

При вторичной фрагментации происходит образование дислокационных стенок как поперек, так и вдоль пластин α -фазы. Вторичная фрагментация разрушает перлитные колонии, создавая в структуре хаос. Образуются изотропные фрагменты α -фазы, границы которых частично окаймлены цементитом. Такие участки представляют собой смесь зерен α - фазы и цементита. Электронно-микроскопическое изображение структуры вторично фрагментированного перлита представлено на рисунке 2 а, а его схема - на рисунке 2 б.

Вторичная фрагментация развивается локально, в основном, в стыках зерен и перлитных колоний и вблизи частиц карбида M_6C (рисунок 3). Именно в таких местах в исходном состоянии стали присутствовали перлитные колонии с дефектным цементитом.

Уже на глубине 10 мм от поверхности валка структура стали полностью фрагментирована, причем в материале присутствуют оба типа фрагментов (см. рисунок 1 а и 2 а) в одинаковом количестве. Средний размер фрагментов на этой глубине составляет величину 0,38 мкм. По мере приближения к поверхности средний размер фрагментов уменьшается, хотя и незначительно, и на по-

верхности валка он равен 0,31 мкм. Отметим, что средний размер первичных фрагментов всегда в ~1,3 раза меньше среднего размера вторичных фрагментов. Внутри всех фрагментов α -фазы присутствуют дислокации при плотностях, достигающих 10^{10} см^{-2} .

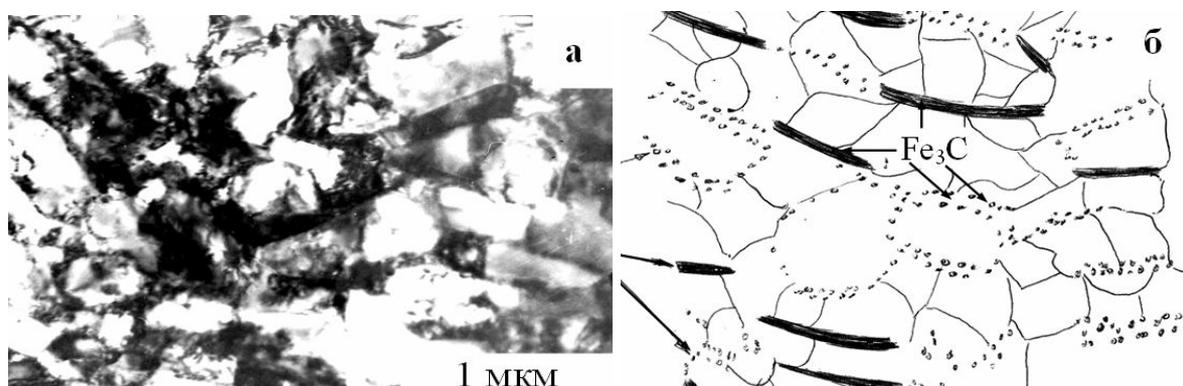


Рисунок 2 – Электронно-микроскопическое (а) и схематическое (б) изображения вторично фрагментированного пластинчатого перлита (стрелками на схеме отмечены частицы цементита, находящиеся на границах вторичных фрагментов)

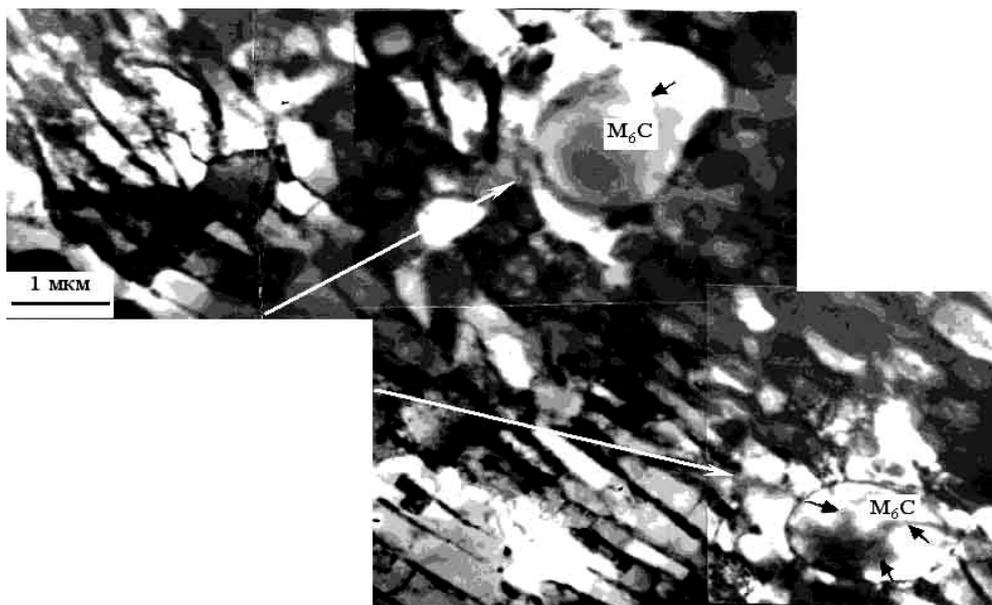


Рисунок 3 – Электронно-микроскопическое изображение тонкой структуры стали 9ХФ. Белыми стрелками отмечены места вторичной фрагментации вблизи частиц карбида M_6C , черными стрелками – экстинкционные контуры упругого происхождения внутри частиц

Особо следует обратить внимание на размеры и форму карбида железа Fe_3C (цементита). Независимо от типа фрагментов частицы цементита присутствуют в трех характерных местах дефектной структуры материала (см. схему на рисунке 4). Во-первых, в бывших колониях, подвергшихся частичному разрушению. Здесь частицы цементита имеют пластинчатую форму и

располагаются вдоль границ фрагментов α -фазы. В среднем поперечные размеры частиц составляют величину $\sim(30 \pm 10)$ нм, продольный размер частиц соответствует размеру длинной стороны фрагмента. Во-вторых, частицы цементита присутствуют в субграницах фрагментации α -фазы в виде относительно мелких пластинок, средний размер которых составляет $\sim(10 \pm 2) \times (30 \pm 10)$ нм. В-третьих, частицы цементита присутствуют внутри фрагментов на дислокациях. Они имеют округлую форму, их размер не превышает 10 нм.

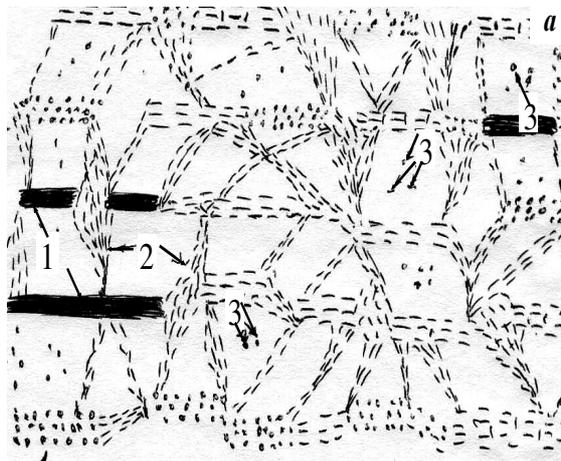


Рисунок 4 – Схема расположения частиц цементита в поверхностных слоях валка стали 9ХФ после прокатки: 1 – пластины цементита бывших перлитных колоний, 2 – предварительно разрушенные частицы цементита, находящиеся на субграницах деформационного происхождения, 3 – предварительно разрушенные частицы цементита, находящиеся на дислокациях внутри фрагментов

Необходимо обратить внимание на еще одну фазу, присутствующую в материале валка в сравнительно небольших количествах, однако могущую значительно влиять на механические свойства материала. Это - частицы специального карбида M_6C (рисунок 5). Они обладают округлой формой, их размер $\sim 0,5$ мкм вблизи поверхности валка и 0,7 мкм на расстоянии 10 мм. Эти карбиды не содержат дислокаций и, по-видимому, в исследуемых условиях деформируются исключительно упруго (на это указывает наличие бездислокационных изгибных контуров внутри частиц, см. рисунок 5). Вследствие этого в них запасена большая упругая энергия, которая идентифицируется по значительной величине кривизны-кручения кристаллической решетки.

Одновременно они являются источниками дальнедействующих полей для окружающей их матрицы. Высокие поля напряжений в частицах специальных карбидов могут приводить к их растрескиванию. В этом случае частицы будут служить источниками трещин для α -фазы.

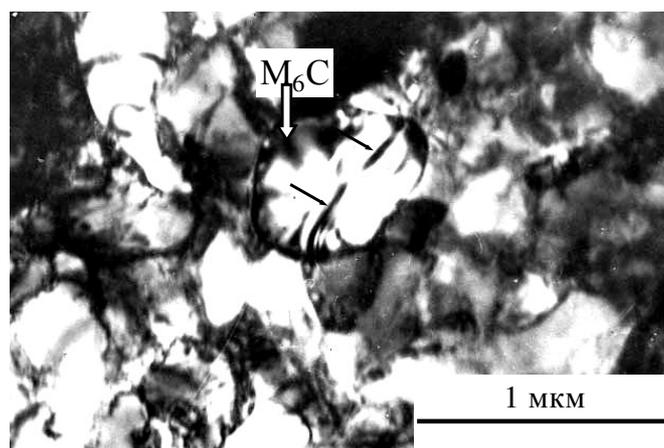


Рисунок 5 – Электронно-микроскопическое изображение участка структуры поверхности образца стали 9ХФ. Частица карбида M_6C и вторично фрагментированный перлит. Внутри частицы присутствуют бездислокационные экстинкционные контуры (отмечены стрелками)

Подведем итог по качественной картине, протекающей в деформированном перлите. Деформация вначале развивается в α -фазе. В ней накапливаются дислокации, развиваются дислокационные границы (вначале поперечные, затем продольные). После упрочнения α -фазы начинает развиваться более интенсивная деформация в прослойках цементита. Скользящие дислокации разрезают пластины, переносят мелкие частицы внутрь α -фазы, частично растворяют в своих ядрах атомы углерода и также переносят их в объем α -фазы.

Оценки степени пластической деформации, приводящей к формированию фрагментированной структуры с минимальным размером фрагментов 0,3 мкм, показывают, что, согласно [4], она составляет $\epsilon \approx 0,7$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Градиентные структурно-фазовые состояния в твердых телах / Э.В. Козлов, А.М. Глезер, В.Е. Громов [и др.] // Известия РАН. Сер.: Физическая. - 2003. – Т 67, № 10. - С. 1374.
2. Градиентные структурно-фазовые состояния в рельсовой стали. / В.Е. Громов, В.А. Бердышев, Э.В. Козлов [и др.]. - М. : Недра ком. ЛТД, 2000. - 176 с.
3. Градиентные структуры в перлитной стали / Э.В. Козлов, В.Е. Громов, В.В. Коваленко [и др.]; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк, 2004. - 224 с.
4. Деформационное упрочнение и разрушение поликристаллических металлов / В.И.Трефилов, В. Ф. Моисеев, Э.П. Печковский [и др.]. – Киев : Наукова думка, 1987. – 248 с.

УДК 669.295.69:621.793

Д.А. Романов, Е.А. Будовских, В.Е. Громов

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

ДЕГРАДАЦИЯ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМ W-CU, MO-CU, TI-B-CU, В ХОДЕ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА КОНТАКТНУЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

В условиях ускоренных испытаний электромагнитных пускателей ПМА 4100 на коммутационную износостойкость методом световой микроскопии изучена поверхность разрушения электроэрозионностойких покрытий систем W-Cu, Mo-Cu, Ti-B-Cu, сформированных электровзрывным способом. Установлено, что тугоплавкий компонент способствует уменьшению испарения меди в процессе работы.

By method of light microscopy are studied the fracture surface electroerosion stability coating systems coating systems W-Cu, Mo-Cu, Ti-B-Cu, formed by electroexplosive way in conditions of electromagnetic actuators PMA 4100. Established that the skeleton of the refractory phase contributes to the conservation form of the contact surfaces reduces the droplet entrainment of molten copper in the process.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. (гос. контракт № 14.740.11.1154) и грантом РФФИ (проект № 10-07-00172-а)

Высокая доступность, электро- и теплопроводность меди делают ее незаменимым материалом для электрических контактов переключателей. В условиях эксплуатации медные электрические контакты испытывают электроэрозионное разрушение. Это является существенным недостатком меди. Известно, что повысить электроэрозионную стойкость позволяет нанесение покрытий систем W-Cu, Mo-Cu, Ti-B-Cu. В работе [1] такие покрытия были сформированы на образцах электротехнической меди методом электровзрывного напыления. Цель настоящей работы заключалась в изучении влияния эксплуатационных факторов на эволюцию их структуры.

Электровзрывную обработку проводили с использованием лабораторной установки ЭВУ 60/10 [2]. Она включает емкостный накопитель энергии и импульсный плазменный ускоритель, состоящий из коаксиально-торцевой системы электродов с закрепленным на них проводником, разрядной камеры, локализирующей продукты взрыва и переходящей в сопло, по которому они истекают в вакуумную технологическую камеру с остаточным давлением 100

Па. Электровзрыв происходит в результате пропускания через проводник тока большой плотности при разряде накопителя.

Покрyтия систем W-Cu, Mo-Cu, Ti-B-Cu с композиционной наполненной структурой [1] наносили на образцы из электротехнической меди М1 с размерами 7Ч6Ч1,3 мм, которые соответствуют размерам контактов электромагнитных пускателей марки ПМА 4100 [3]. Испытания на коммутационную износостойкость в режиме АС-4 [4] проводили на испытательном комплексе ООО «ЗЭТА» (г. Кемерово) при токе коммутирования 378 А и $\cos\varphi = 0,35$. Число циклов включений-отключений до полного разрушения в случае покрытий системы составило 5825, 8047 и 4125 для систем Ti-B-Cu, Mo-Cu и W-Cu соответственно.

Световую микроскопию поверхности покрытий после испытаний проводили с использованием оптического микроскопа Carl Zeiss AxioObserver A1m.

В исходном состоянии структура покрытий систем W-Cu, Mo-Cu представляет собой медную матрицу с глобулярными включениями вольфрама или молибдена с размерами порядка 10 мкм. Покрyтия системы Ti-B-Cu содержат бориды титана TiB_2 , Ti_2B , Ti_3B_4 , TiB и медь [2]. Толщина покрытий составляет 25 мкм. Под влиянием высоких температур в процессе испытаний покрытий систем W-Cu, Mo-Cu происходит оплавление их поверхности и образование на ней грубого рельефа (рисунок 1).

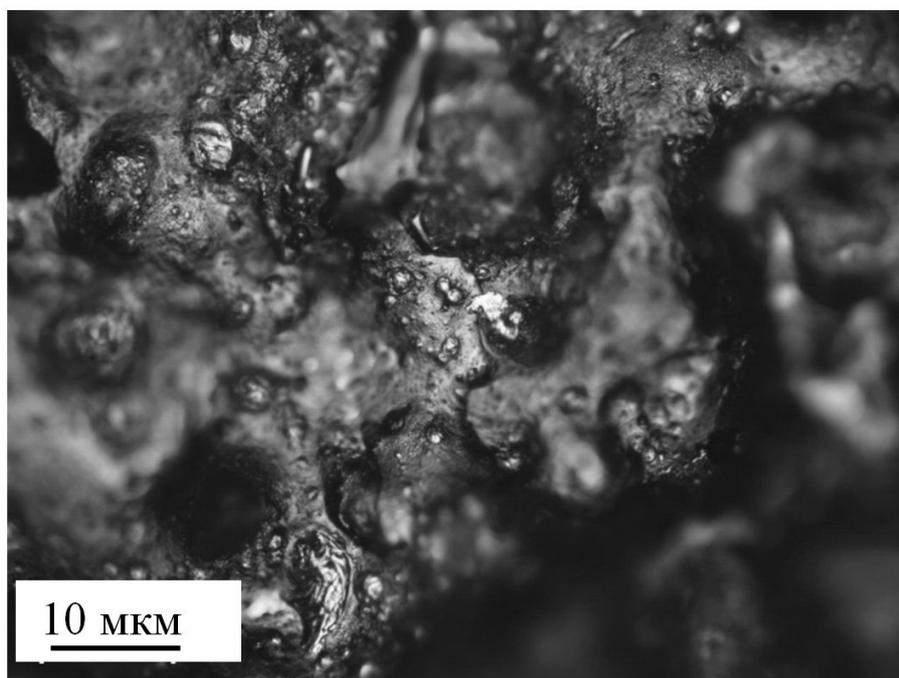


Рисунок 1 – Структура поверхности разрушения электроэрозионностойкого покрытия системы вольфрам-медь после эксплуатации электрических контактов

При этом легкоплавкая медь испаряется и основным элементом покрытия становится вольфрам или молибден соответственно, которые образуют

сплошную матрицу с включениями меди с размерами порядка нескольких микрометров (рисунок 1, 2). В отдельных областях происходит разрушение покрытия до материала основы.

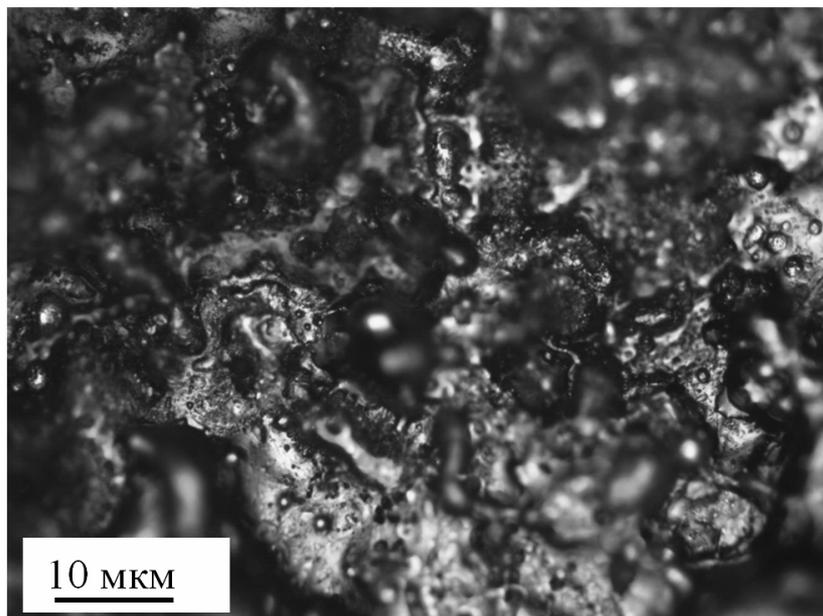


Рисунок 2 – Структура поверхности разрушения электроэрозионностойкого покрытия системы молибден-медь после эксплуатации электрических контактов

Особенностью деградации покрытий системы Ti-V-Cu является то, что локально происходит полное изнашивание покрытия до материала основы (рисунок 3, *a*): на поверхности меди присутствуют бориды титана (темные области показаны стрелками).

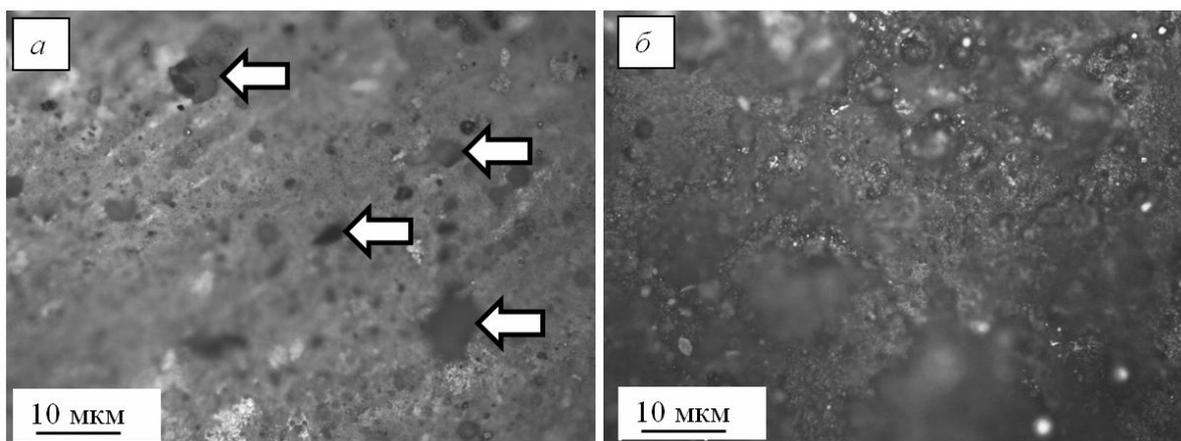


Рисунок 3 – Структура поверхности разрушения электроэрозионностойкого покрытия системы Ti-V+Cu после эксплуатации электрических контактов: *a*, – медная основа с боридами титана, *б* – контакт на неподвижной шине (стрелками показаны бориды титана)

Общим для всех систем является то, что композиционная наполненная структура, образованная вольфрамом и медью, молибденом и медью, борида-

ми титана и медью, способствует сохранению плоской формы поверхности контакта (рисунок 3, б). По-видимому, роль тугоплавкого компонента сводится к уменьшению испарения меди в процессе работы.

Механизм деградации покрытий, по-видимому, включает испарение меди, обогащение поверхности покрытий тугоплавким компонентом и дальнейшее ускорение разрушения покрытия вследствие повышения температуры из-за снижения электрической проводимости [5]. Очевидно, что дополнительное повышение коммутационной износостойкости может быть достигнуто путем увеличения толщины покрытия путем повторения электровзрывного формирования его единичных слоев.

Таким образом, электроэрозсионностойкие покрытия систем W-Cu, Mo-Cu, Ti-W-Cu, сформированные электровзрывным методом, в условиях ускоренных испытаний сохраняют композиционную структуру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Формирование структурно-фазовых состояний металлов и сплавов при электровзрывном легировании и электронно-пучковой обработке / под ред. В.Е. Громова – Новокузнецк: Изд-во «Интер-Кузбасс», 2011. – 212 с.

2. Физические основы электровзрывного легирования металлов и сплавов: моногр. / А.Я. Багаутдинов, Е.А. Будовских, Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов. – Новокузнецк, СибГИУ. – 2007. – 301 с.

3. ТУ 16-644.005-84 Пускатели магнитные, контакторы.

4. ГОСТ 12434-83 Аппараты коммутационные низковольтные. Общие технические условия: М; 1983, 17 с.

5. Bregel T., Krauss-Vogt W., Michal R., Saeger K.E. On the application of W/Cu materials in the fields of power engineering and plasma technology // IEEE Transactions in components, hybrids and manufacturing technology. – 1992. – Vol. 14. – N1. – P. 8–13.

**ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА
ПРЕДПРИЯТИЯХ**

УДК 622.1

Л.Ю. Сазыкина, К.Г. Венгер, А.А. Линков, Ж.М. Гафиятов,
Л.П. Мышляев

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

ООО «Объединенная компания «Сибшахтострой», г. Новокузнецк

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЕЙ

Рассматриваются основные особенности технологического процесса обогащения углей как объекта управления, определяющие необходимость решения задачи оптимального взаимосвязанного регулирования зольности концентрата и отходов с учетом их совместного влияния на технико-экономические показатели производства. На примере системы управления обогащением в тяжелосреднем сепараторе дается описание алгоритма оптимального управления процессом обогащения, в основу которого положена процедура натурно-математического имитационного моделирования с использованием типопредставительных ситуаций для воспроизведения динамики изменений модельных (расчетных) значений зольности концентрата и отходов.

The main characteristics of technological process of coal-cleaning as a control object are considered that determine the necessity to solve the problem of optimal interconnected regulation of concentrate ash and waste with due regard for their combined influence on engineering-and-economical performance. On the example of the cleaning control system in the heavy medium separator the description of the algorithm of optimal cleaning process control is provided. It comprises the procedure of full-scale mathematical simulation modeling with use of typical situations for dynamics reproduction of changes in model values of concentrate ash and waste.

Рассматривая задачу управления технологическим процессом обогащения углей, отметим следующие основные особенности этого технологического процесса как объекта управления.

1. Многостадийность технологического процесса, реализуемого с использованием большого количества технологических агрегатов, оборудования и транспортных связей между ними, приводит к необходимости согласованного формирования управляющих решений, как на этапе выбора оптимальных технологических режимов, так и при оперативном управлении (регулировании) технологическими процессами по отдельным стадиям, с учетом

влияния этих решений на технико-экономические показатели комплекса в целом.

2. Результатом технологического процесса являются, как минимум, два продукта – товарный концентрат и отходы. Изменения содержания золы в концентрате и полезного продукта (угля) в отходах имеют тесную взаимосвязь. Уменьшение зольности концентрата сопровождается потерями угля и снижением зольности отходов, и наоборот. Очевидно противоречивое влияние изменений зольности концентрата и отходов на технико-экономические показатели процессов обогащения. Это приходится учитывать не только при программировании технологических режимов комплекса обогащения, но и при оперативном управлении технологическими процессами на каждой из стадий обогащения. То есть традиционная постановка задачи оперативного управления (или регулирования) технологическим процессом обогащения с ориентацией только на одну из выходных переменных (в частности, зольность концентрата), по меньшей мере, некорректна с позиций эффективности управления комплексом в целом. Необходимо взаимосвязанное регулирование зольности концентрата и отходов с учетом не только их текущих изменений, но и совместного влияния на технико-экономические показатели производства.

3. Технологический процесс подвержен влиянию нестационарных координатных и параметрических возмущающих воздействий, обусловленных изменениями зольности и влажности поступающих на обогащение рядовых углей, изменениями характеристик технологического оборудования.

4. Координатное управление технологическим процессом на любой из его стадий осуществляется по нескольким управляющим входам с существенно различающейся динамикой влияния управляющих воздействий на управляемые выходные переменные и параметры состояния. Время же транспортного запаздывания в каналах координатного управления зачастую значительно превышает время переходных процессов в объекте управления.

5. Наличие положительных технологических обратных связей (рециклов) как внутри, так и между стадиями обогащения, организуемых посредством водно-шламовой схемы. Рециклы существенно ухудшают динамические свойства технологического процесса как объекта управления и усложняют решение задач его регулирования.

Конкретизируем отмеченные выше особенности технологического процесса обогащения, как объекта управления, на примере обогащения в тяжелосреднем сепараторе. Упрощенное изображение схемы цепи аппаратов технологического комплекса тяжелосреднего сепаратора представлено на рисунке 1. В состав объекта контроля и управления входят: бункер рядового угля с питателем для регулирования расхода угля, подаваемого транспортным конвейером подачи на обогащение, собственно тяжелосредний сепаратор с делителем потока суспензии на сливе сепаратора, зумпфы кондиционной и некондиционной суспензии, обезвоживающие грохоты концентрата и отходов, маг-

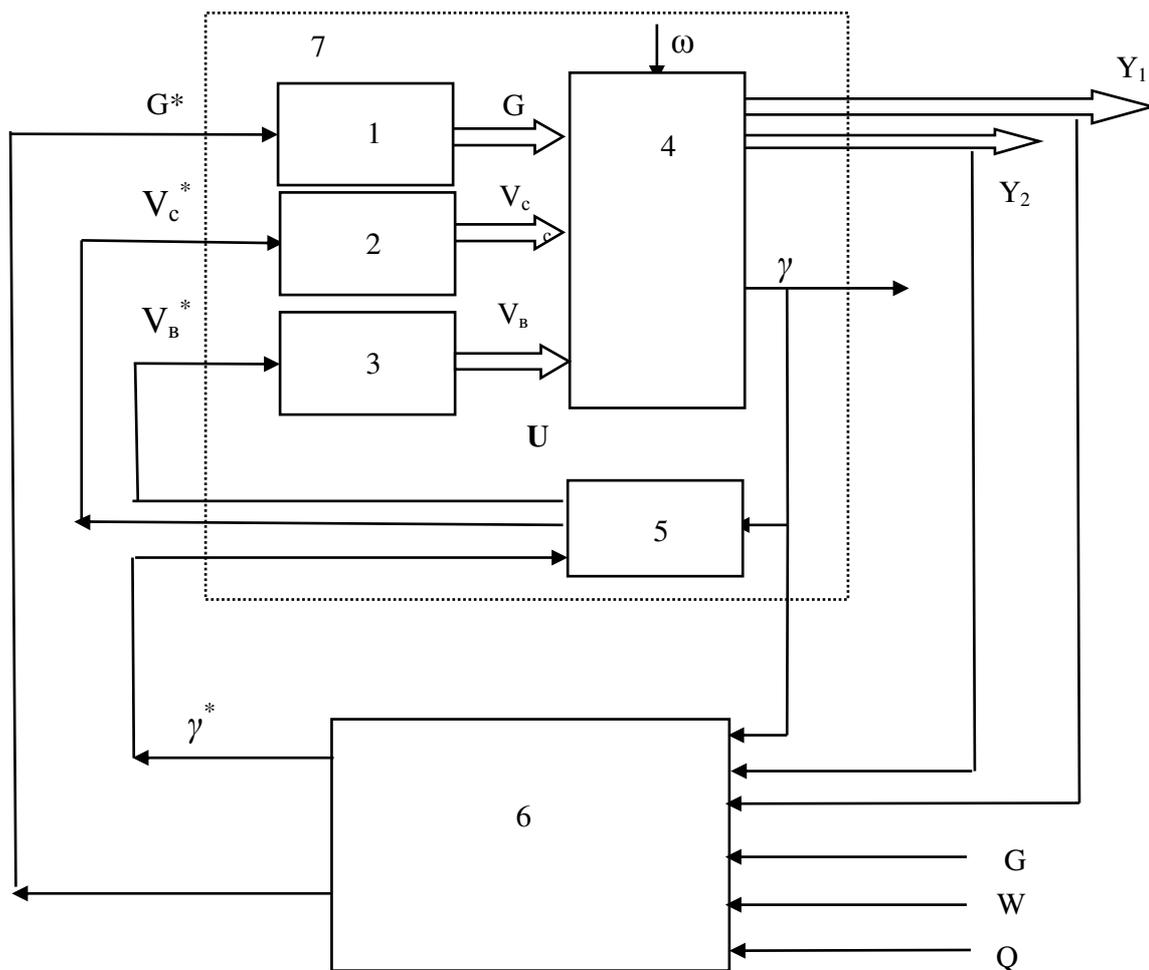
для решения задач анализа условий и результатов функционирования технологического комплекса. Для оперативного управления и регулирования технологического процесса такие данные практически бесполезны.

Неконтролируемые возмущающие внешние воздействия ω процесса обогащения – это изменения зольности и влажности рядового угля, минералогических характеристик породы и прочих факторов, которые оперативно не контролируются. Оценены могут быть только косвенно (расчетным путем) в виде приведенного к выходу объекта управления эквивалентного возмущения $\omega=(\omega_1, \omega_2)$, отражающего совокупный вклад всех неконтролируемых возмущений в изменения ω_1 и ω_2 соответствующих выходных переменных Y_1 и Y_2 .

Оперативное управление технологическим процессом осуществляется взаимосогласованным изменением общего расхода G (нагрузки) рядового угля, подаваемого на обогащение и изменением плотности \mathcal{Y} рабочей суспензии, подаваемой на сепаратор.

Функциональная схема системы управления комплексом тяжелосреднего сепаратора изображена на рисунке 2. Здесь оперативное управление технологическим процессом осуществляется изменением заданий G^* и \mathcal{Y}^* системе автоматического регулирования (САР) нагрузки G и регулятору плотности \mathcal{Y} рабочей суспензии, управляющему расходом воды V_g на разбавление кондиционной суспензии через изменения заданий V_g^* САР расхода воды. Зашламление рабочей суспензии, разбавление её промывочными водами и потери магнетита приводят к необходимости поддерживать ресурсы регулирования плотности рабочей суспензии \mathcal{Y} , меняя расход V_c свежей суспензии, подаваемой в бак кондиционной суспензии путем изменений задания V_c^* САР расхода свежей суспензии.

Очевидно, что технологический процесс обогащения на комплексе тяжелосреднего сепаратора имеет распределенное управление, и динамика изменения управляющих воздействий по каждому из каналов должна существенно различаться. И если задачи построения локальных САР нагрузки сепаратора, расхода свежей суспензии и расхода воды на разбавление кондиционной суспензии достаточно тривиальны и могут быть решены с использованием типовых алгоритмов регулирования, то задач алгоритмизации регулирования плотности рабочей суспензии и взаимосогласованного изменения G^* и \mathcal{Y}^* типовых решений нет.



1 - САР дозирования рядового угля; 2 – САР расхода свежей суспензии; 3 - САР расхода воды на разбавление кондиционной суспензии; 4 – технологический комплекс тяжелосредного сепаратора; 5- регулятор плотности рабочей суспензии; 6 – управляющая процессом обогащения система; 7 – объект управления для управляющей системы 6; G и G^* - текущая и заданная нагрузка по рядовому углю; V_c и V_c^* - текущий и заданный расход свежей суспензии; V_b и V_b^* - текущий и заданный расход воды на разбавление кондиционной суспензии; γ и γ^* - текущая и заданная плотность рабочей суспензии; текущая и заданная высота слоя постели. v – неконтролируемые возмущения; Y_1 и Y_2 – зольность концентрата и отходов; $W = (W_1, W_2, \dots)$ вектор контролируемых внешних воздействий; Q - критерий эффективности управления

Рисунок 2 – Функциональная схема системы управления комплексом обогащением в тяжелой среде

Рассмотрим основные аспекты построения алгоритма управления, реализуемого управляющей системой б, решающей задачу оптимального взаимосогласованного изменения управляющих воздействий $U=(G^*, \mathcal{Y}^*)$. Задача решается с учетом не только текущих значений выходов $Y=(Y_1, Y_2)$ (зольности концентрата Y_1 и отходов Y_2), внешних контролируемых W и неконтролируемых ω возмущающих воздействий, но также и совместного их влияния на технико-экономические показатели производства в соответствии с заданным критерием эффективности управления $Q = Q\{Y, U, W, \omega, F, t\}$. Здесь F - это модель пересчета технических характеристик в экономические показатели эффективности функционирования системы управления, например удельные затраты по переделу в абсолютных или относительных единицах, соответствующая утвержденной на предприятии методике расчетов.

На рисунке 3 изображена структурная схема управляющей системы б, отражающая алгоритмическую структуру и основные информационные связи этой системы. В основу этого алгоритмического обеспечения управляющей системы положена процедура натурно-математического имитационного моделирования с использованием типопредставительных ситуаций (ТПС) для воспроизведения динамики изменений модельных (расчетных) значений выходных переменных $Y^M=(Y_1^M, Y_2^M)$ при фактических контролируемых $W=(W_1, W_2, \dots)$ и неконтролируемых $\omega=(\omega_1, \omega_2)$ возмущающих воздействиях для каждого j -го управляющих решений $U_j^{*M} = (G_j^{*M}, \lambda_j^{*M})$.

Системой реализуются следующие основные операции.

Формирование, хранение и выбор ТПС

В режиме реального времени выполняется:

– косвенное (расчетное) оценивание текущих значений приведенного к выходам объекта эквивалентного неконтролируемого возмущения $\omega(i)=(\omega_1(i), \omega_2(i))$;

– анализ динамики изменения переменных W, U, Y, ω , характеризующих протекание технологического процесса на скользящем интервале времени, величина которого определяется «памятью» замкнутой системы управления процессом обогащения и составляет не менее 8 часов, и определение их структурных характеристик (средних значений трендов, дисперсий и др.) с формированием вектора $P(i) = (P_1(i), \dots, P_r(i), \dots, P_R(i))$ числовых значений признаков текущей ситуации.

– формирование информационного отображения предыстории функционирования объекта управления в различных ситуациях (условиях), определяемых контролируемыми и неконтролируемыми внешними воздействиями, координатными управляющими воздействиями. Это информационное отображение классифицировано по признакам качественного различия ситуаций, структуризуется и хранится в виде комплексов векторных реализаций данных W_s, U_s, Y_s, ω_s регистрируемых на интервале $T(H_s^H, H_s^K)$ времени, соответствующем продолжительности существования s -ой типопредставительной (характерной) ситуации.

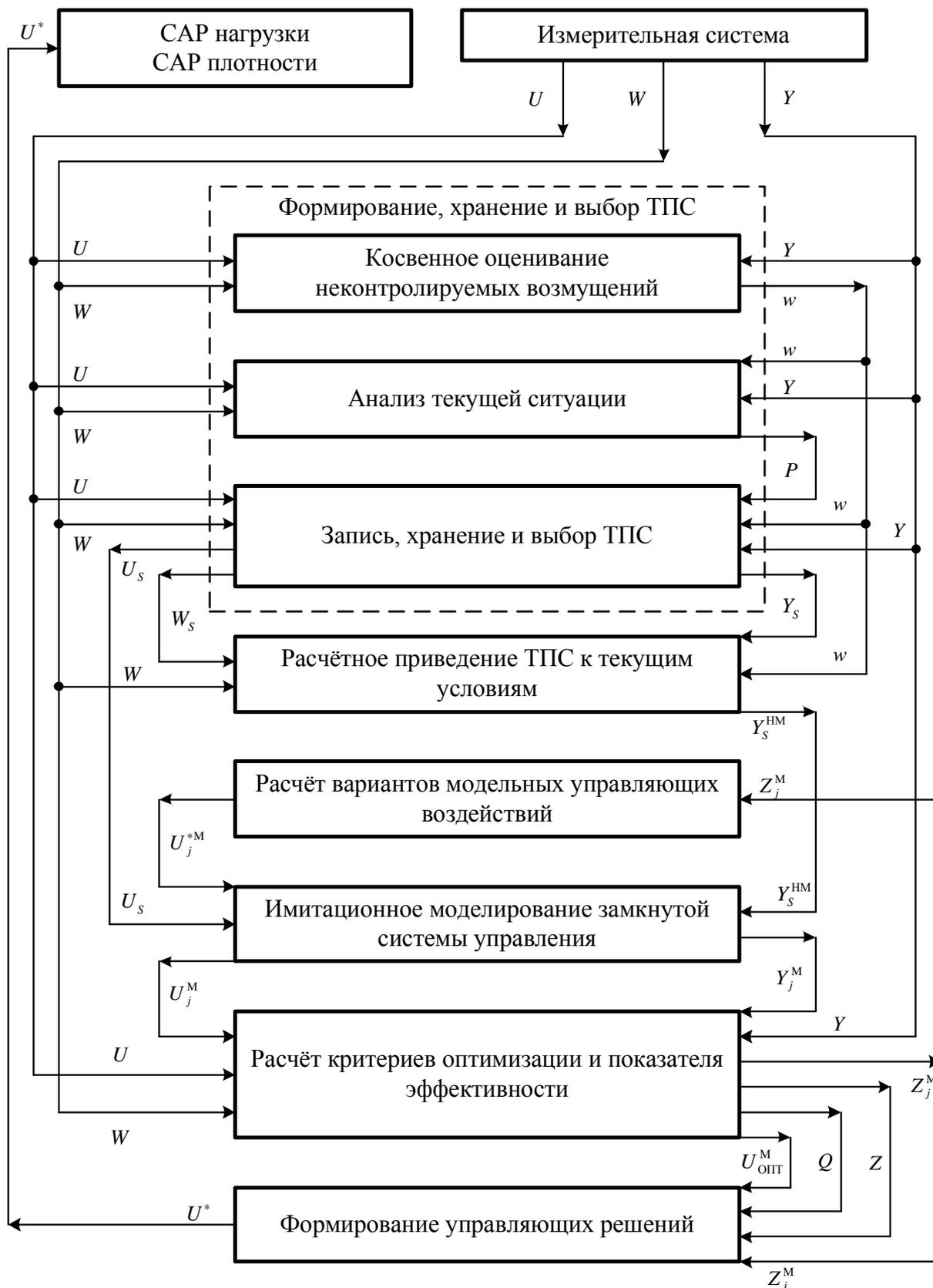


Рисунок 3 – Структурная схема управляющей системы

Здесь H_s^H – момент времени возникновения, H_s^K – момент времени завершения s -ой характерной ситуации. Для каждой типопредставительной ситуации определяются математические модели $\varphi_{ws}\{\}$ и $\varphi_{us}\{\}$ каналов преобразования изменений контролируемых внешних и координатных управляющих воздействий в изменения выходных воздействий объекта управления совместно с областями их работоспособности и включаются в структуру информационного отображения этой ситуации. Фиксируется вектор $P_s(i) = (P_{1s}(i), \dots, P_{rs}(i), \dots, P_{Rs}(i))$ числовых значений признаков s -ой ТПС.

– выбор конкретной ТПС для решения задачи имитационного натурно-математического моделирования путем сопоставления вектора $P(i) = (P_1(i), \dots, P_r(i), \dots, P_R(i))$ числовых значений признаков текущей ситуации с векторами $P_s(i) = (P_{1s}(i), \dots, P_{rs}(i), \dots, P_{Rs}(i))$ признаков сформированных ранее ТПС для всех $s = \overline{1, N_s}$ (здесь s - текущий номер, а N_s - общее количество сформированных ТПС).

Методические основы и алгоритмы решения перечисленных задач детально изложены в [1].

Расчетное приведение ТПС к текущим условиям

Предусматривает расчетную корректировку выходных переменных объекта, зарегистрированных в ТПС с учетом различия текущих и зарегистрированных в ТПС внешних контролируемых и неконтролируемых воздействий:

$$Y_s^{HM}(i) = Y_s(i) + \delta Y_{sw}^M(i) + \omega(i) - \omega_s(i);$$

$$\delta Y_{sw}^M(i) = \varphi_{ws}\{\delta W_s(i - l_w)\}, \text{ и } \delta W_s(i) = W(i) - W_s(i).$$

Изменения расчетных величин $Y_s^{HM}(i)$ показывают, как изменялись бы выходные воздействия объекта управления, если бы в текущих условиях, характеризуемых контролируемыми и неконтролируемыми внешними воздействиями $W(i)$ и $\omega(i)$, был бы реализован вектор $U_s(i)$ управляющих воздействий, зарегистрированных в информационном отображении s -й ТПС.

Расчет вариантов модельных управляющих воздействий

Для выбора вариантов управляющих воздействий $U_j^{*M} = (G_j^{*M}, \lambda_j^{*M})$ используется широко известная процедура симплексного планирования эксперимента при поиске оптимальных условий с переменным шагом квантования составляющих G_j^{*M} и λ_j^{*M} вектора модельных управляющих воздействий. Задачей оптимизации является минимизация удельных затрат на производство. Решения на очередном j -ом шаге выбора значений модельных управляющих воздействий G_j^{*M} и λ_j^{*M} принимаются по результатам имитационного моделирования, расчета соответствующих модельных значений $Y_j^M = (Y_{1j}^M, Y_{2j}^M)$ выход-

ных переменных объекта управления и значений критерия оптимизации $Z^M(i)$ на предшествующих шагах.

Имитационное моделирование замкнутой системы управления

Здесь расчетным путем на основе данных о текущих значениях модельных управляющих воздействий $U_j^{*M}(i) = (G_j^{*M}(i), \lambda_j^{*M}(i))$ с использованием динамических моделей систем регулирования нагрузки и плотности рабочей суспензии определяются соответствующие текущие модельные значения входных управляющих воздействий объекта управления $U_j^M(i) = (G_j^M(i), \lambda_j^M(i))$

$$U_j^M(i) = \varphi_{CAP} \{ U_j^{*M}(i) \},$$

где $\varphi_{CAP} = \{ \varphi_G, \varphi_\gamma \}$; φ_G – оператор динамической модели САР нагрузки; φ_γ – оператор динамической модели САР плотности рабочей суспензии.

В том случае, когда время переходных процессов САР нагрузки и САР плотности при изменениях задающих воздействий G^* и γ^* невелико в сравнении с интервалом $T(H_s^H, H_s^K)$ времени, соответствующим продолжительности существования s -ой типопредставительной ситуации, динамикой исполнительных САР можно пренебречь, приняв $U_j^M(i) = U_j^{*M}(i)$.

Воспроизводится динамика изменений модельных выходных воздействий $Y_j^M(i)$, которые при текущих внешних воздействиях $W(i)$ и $\omega(i)$ имели бы место в системе с рассматриваемым объектом управления при реализации управляющих входов $U_j^M(i)$.

Расчет модельных выходных воздействий выполняется путем расчетной коррекции $Y_s^{HM}(i)$ по отклонению $U_j^M(i)$ от $U_s(i)$ по формуле

$$Y_j^M(i) = Y_s^{HM}(i) + \delta Y_j^M(i),$$

$$\delta Y_j^M(i) = \varphi_s \{ u_j^M(i - l_u) \} \text{ и } u_j^M(i) = U_j^M(i) - U_s(i).$$

Более подробно вопросы методического и алгоритмического обеспечения имитационных натурно-модельных комплексов рассмотрены в [2-4].

Оценивание численных значений критерия оптимизации и показателя эффективности управляющих решений

В качестве критерия оптимизации принята величина удельных затрат на производство, рассчитываемая в соответствии с утвержденной на предприятии методикой

$$Z = F^II \{ W, U, Y \},$$

где F^II – модель пересчета технических характеристик внешних управляющих и выходных воздействий в удельные затраты на производство.

Для каждого j -ого варианта модельных управляющих воздействий $U_j^M = (G_j^{*M}, \lambda_j^{*M})$ рассчитывается оценка значения удельных затрат на производство при условии реализации на объекте управления вектора управляющих воздействий $U_j^M(i)$:

$$Z_j^M(i) = F^{\Pi} \{W(i), U_j^M(i), Y_j^M(i)\}$$

После завершения процедуры поиска оптимальных значений модельных управляющих воздействий $U_{opt}^{*M} = (G_{opt}^{*M}, \lambda_{opt}^{*M})$ выполняется оценивание показателя эффективности найденных управляющих решений путем сопоставления сопоставлении величины оценки удельных затрат на производство $Z_{opt}^M(i) = F^{\Pi} \{W(i), U_{opt}^M(i), Y_{opt}^M(i)\}$ при оптимальных значениях модельных управляющих воздействий $Z_{opt}^M(i) = F^{\Pi} \{W(i), U_{opt}^M(i), Y_{opt}^M(i)\}$ с величиной этих затрат $Z(i) = F^{\Pi} \{W(i), U(i), Y(i)\}$ при фактически реализованных управляющих воздействиях в реально действующей системе.

Для сравнительной оценки эффективности найденных оптимальных управляющих решений используется показатель эффективности

$$Q_{opt}^M(i) = \frac{Z(i) - Z_{opt}^M(i)}{Z(i)},$$

числовое значение и знак которого характеризуют относительную эффективность $U_{opt}^{*M} = (G_{opt}^{*M}, \lambda_{opt}^{*M})$ в сравнении с фактически реализованными управляющими воздействиями.

Формирование управляющих решений

Выбор управляющих решений и формирование соответствующих задающих воздействий $U^* = (G^*, \lambda^*)$ исполнительным САР нагрузки и плотности рабочей суспензии осуществляется либо оперативным персоналом на основании предоставляемых результатов анализа текущей ситуации и поиска оптимальных управляющих воздействии, либо автоматически исходя из условия $U^* = U_{opt}^{*M}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мышляев Л.П. Прогнозирование в системах управления / Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко. – Новокузнецк: СибГИУ, 2003. – 348 с.
2. Авдеев В.П. К развитию производственно – исследовательских автоматизированных систем управления / В.П. Авдеев, Л.П. Мышляев // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1984. – №2. – С. 92–99.
3. А.С. 1509952 СССР. Устройство для моделирования систем управления / Л.П. Мышляев, В.И. Носырев, В.Ф. Евтушенко и др. – Опубл. 23.09.1989, бюл. изобр. №35.
4. Мышляев Л.П. Построение и применение натурно-модельных комплексов / Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко, А.Е. Щелоков. – М.: Электрика, 2000. – 48 с.
5. Мышляев Л.П. Построение и применение натурно-модельных комплексов / Л.П. Мышляев, В.Ф. Евтушенко, А.Е. Щелоков. – М.: Электрика, 2000. – 48 с.

К.А. Черепанов, А.И. Мирошник, В.К. Черепанова, З.А. Масловская
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный
университет», г. Новокузнецк

О РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЗВИТИЯ В КУЗБАССЕ

В статье рассматривается проблема реализации устойчивого промышленного развития в Кузбассе в соответствии с программой безопасного промышленного развития современного общества (ESID), утвержденной Генеральной Ассамблеей ООН в 1987 г.

In the article the problem of realization of stable industrial development in Kuzbass is considered pursuant to the program of safe industrial development of modern company (ESID), authorized General Assembly ООН in 1987.

Проблема рационального природопользования, а следовательно и ресурсосбережения в настоящее время общеизвестна, она является одной из основных в концепции устойчивого развития, принятой на Конференции ООН по окружающей среде и развитию, состоявшейся в Рио – де – Жанейро в 1992 г. В 1996 г. был издан Указ президента РФ «О концепции перехода РФ к устойчивому развитию», в которой одной из главных задач является следующая: «...ввести хозяйственную деятельность в пределы емкости экосистем на основе массового внедрения энерго – и ресурсосберегающих технологий». Это направление конкретизируется в основных положениях Государственной стратегии перехода РФ к устойчивому развитию следующим образом: необходимы: а) рациональное использование невозобновимых природных ресурсов; б) расширенное использование вторичных ресурсов (отходов), их утилизация, обезвреживание и захоронение [1].

Эффективно решать эту проблему возможно при условии, что в производственных процессах отходов образуется мало или их нет совсем, т.е. необходимо разрабатывать и реализовать мало – и безотходные технологии. На это было обращено внимание в Декларации Европейской Экономической Комиссии (ЕЭК ООН) по мало – и безотходным технологиям (1979 г.)

Задача управления отходами, на наш взгляд, должна решаться на основе иерархического подхода. В соответствии с ним вначале приоритет отдается стремлению избежать образования отходов (безотходные технологии), если же они образуются, то необходимо, чтобы их было мало (малоотходные технологии), далее решается задача изготовления из отходов (техногенного сырья) какой – либо продукции (с предварительной их обработкой либо без нее). Возможен и такой вариант – продажа их заинтересованному потребителю (в том

виде, в каком они образовались) и лишь на последнем месте - складирование (захоронение) отходов.

В этой иерархии важную роль играют т.н. «хвостовые» природоохранные технологии, использующие различные способы улавливания, например, дисперсных выбросов с помощью разнообразных пыле – газоочистных установок, поскольку от эффективности их работы зависит степень загрязненности окружающей среды. Однако их улавливание в соответствии с принципом «end of pipe» (дословно – «на конце трубы») не дает должного эффекта и сопровождается вторичным загрязнением – образуются шламы, золоуносы, кислотные дожди и т.д. На смену этому принципу в 90-е годы XX в. пришла новая идеология, основанная на реализации устойчивого промышленного развития в соответствии с программой «Environment Safety Industrial Development» (ESID), утвержденной в 1987 г. на Генеральной Ассамблее ООН (резолюция 42 / 187). Она предусматривает использование такого инструмента как жизненный цикл продукции «Life Cycle Analysis» (LCA), который предполагает минимизацию образования отходов на каждом этапе технологического процесса и использования их в качестве сырья. В промышленно развитых странах в настоящее время технология, не прошедшая экспертизы на соответствие принципам ESID и LCA, не получает лицензии и поэтому не может быть практически реализована.

В Российской Федерации многие предприятия при решении вопросов загрязнения окружающей среды по-прежнему руководствуются принципом «end of pipe», который в хозяйственной деятельности зарубежных стран считается морально устаревшим. Как указывалось ранее, он предполагает использование очистных сооружений, в то время как основным средством снижения количества выбросов и сбросов ESID провозглашает превентивное их подавление, т.е. применение таких технологий, для которых характерно малое количество отходов, приоритет отдается разработке и использованию малоотходных технологий, а образующиеся отходы должны подвергаться рециклингу.

Проблема ресурсосбережения на основе использования отходов особенно остро стоит в Кузбассе, поскольку Кемеровская область занимает одно из первых мест в России по количеству образующихся промышленных отходов: 1,9 млрд.т в год при общем их образовании в России 3,8 млрд.т (по состоянию на 2008 г.). Нагрузка складироваемых отходов на единицу площади в Кемеровской области составляет 13600 т / км² при среднероссийском показателе 146 т / км², в основном это шлаки и шламы металлургических производств, углеотходы, хвосты обогатительных фабрик, золошлаковые отходы, бой огнеупорных изделий и др. [2, 3]. Следует отметить, что в Кузбассе, в частности в Сибирском государственном индустриальном университете разработаны малоотходные ресурсосберегающие технологии, основанные на рециклинге твердых промышленных отходов, однако до широкого практического использования их еще далеко [4 - 6].

Сегодня реализация государственной политики в сфере рециклинга промышленных отходов затруднена по следующим причинам:

1) отсутствует единая информационная база данных по большинству промышленных отходов, что существенно затрудняет принятие решений в этой области;

2) несовершенная нормативно – правовая база;

3) недолжное исполнение или отсутствие контроля за исполнением уже существующих законов или иных нормативных актов в области рециклинга отходов;

4) недостаточное финансирование работ в области переработки отходов;

5) отсутствуют стандарты по обязательному минимальному содержанию вторичного сырья в товарной продукции.

Известно, что внедрение малоотходных (по своей сути - ресурсосберегающих) технологий происходит не в социально-политическом вакууме, они должны вписываться в определенную законодательную, административную и техническую среду, в общество, обладающее своим характером потребления и производства, нормативами выбросов и сбросов, связанной с этим инфраструктурой, системой переработки или хранения отходов. Эти условия могут часто создавать препятствия для широкого внедрения перспективных ресурсосберегающих технологий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. В.А. Василенко Экология и экономика: проблемы и поиски путей устойчивого развития / В.А. Василенко Аналитический обзор – Новосибирск: Изд.-во ГП НТБ СО РАН, 2003. – 230 с.

2. В.С. Лисин Ресурсо – экологические проблемы XXI века и металлургия / В.С. Лисин, Ю.С. Юсфин – М.: Высшая школа, 1998. – 280 с.

3. К.А. Черепанов Интеграция природоохранных и ресурсосберегающих технологий в металлургии / К.А. Черепанов, В.Н. Перетяцько, С.М. Абрамович // Изв.вуз. Черная металлургия. 1998. № 6. С. 27 – 30.

4. К.А. Черепанов Комплексная переработка и утилизация промышленных отходов в Кузбассе / К.А. Черепанов // Тр. регион. конф. «Перспективы развития переработки вторичных ресурсов в Кузбассе. Экологические, экономические и социальные аспекты» – Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2003. – С.14 – 15.

5. К.А. Черепанов Нанотехнологии как основа энергосбережения в теплоэнергетике и строительстве / К.А. Черепанов, В.К. Черепанова, М.В. Зубенко, Б.В. Коровченко // Проектирование и строительство в Сибири. 2007. №3. С. 39 – 40.

А.И. Мирошник Инновационная технология изготовления высокопрочных пористых материалов на основе зольной микросферы и нанодисперсной вяжущей суспензии / А.И. Мирошник, К.А. Черепанов, З.А. Масловская // Сб. докладов III Междунар. науч.практ. конф. «Управление отходами – основа восстановления экол. равновесия в Кузбассе» – Новокузнецк: СибГИУ. 2010. С. 319 – 322.

М.В. Темлянцев, Н.В. Темлянцев, Е.М. Запольская

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ РАЗОГРЕВЕ ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ КОВШЕВЫХ ФУТЕРОВОК

В статье представлены результаты исследования газообразных вредных выбросов при разогреве периклазоуглеродистых ковшевых футеровок.

In article results of research of gaseous harmful emissions are presented at heating magnesiocarbon ladles refractories.

Работа выполнена по гранту Губернатора Кемеровской области для поддержки молодых ученых докторов наук

Периклазоуглеродистые огнеупоры получили широкое распространение при выполнении футеровок сталеразливочных ковшей. Они обладают высокой огнеупорностью, теплопроводностью, повышенной термостойкостью и низкой смачиваемостью расплавами стали и шлака. Такой комплекс свойств обеспечивает высокую стойкость периклазоуглеродистой футеровки сталеразливочных ковшей, которая в несколько раз превышает стойкость алюмосиликатных, глиноземистых, пекодоломитовых и смолосвязанных периклазоизвестковых футеровок и может достигать 100 плавов и более [1, 2].

В настоящее время широкое распространение получили безобжиговые периклазоуглеродистые ковшевые огнеупоры. В качестве углеродистой составляющей шихты при их производстве применяют в основном природный чешуйчатый графит. Кроме него могут использовать кокс (нефтяной или пековый), сажу, технический углерод, микрографит и их комбинации. Содержание углерода в ковшевых огнеупорах составляет в среднем от 5 до 15 %. С увеличением содержания графита возрастают коррозионная стойкость и термостойкость огнеупоров, увеличивается теплопроводность, а также снижается модуль упругости [3]. В связи с этим для шлакового пояса сталеразливочных ковшей обычно применяют огнеупоры с повышенным содержанием углерода.

В качестве связующих в производстве безобжиговых периклазоуглеродистых изделий используют различные углеродистые материалы: каменноугольную смолу и пек, нефтяной пек и синтетические смолы (главным образом фенольные) [3].

Фенольные смолы представлены двумя типами (резольные и новолачные). В основном предприятия применяют синтетические смолы новолачного

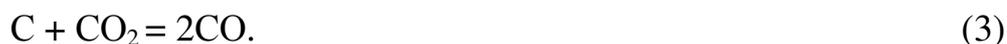
типа, в которые в процессе производства вводят отвердитель, чаще всего гексаметилентетрамин. Продукт под маркой СФП (связующее фенольное порошкообразное) применяется на заводах огнеупорной промышленности [3].

Производство безобжиговых изделий является более привлекательным для огнеупорных заводов, поскольку оно не требует высокотемпературного обжига сформованных огнеупоров, как следствие сокращение их себестоимости, ликвидация вредных выбросов продуктов сгорания от обжиговых печей, отсутствие необходимости в них самих. Однако для непосредственных потребителей таких огнеупоров резко возрастает вероятность обострения экологической ситуации в цехе.

После изготовления новой футеровки (капитального ремонта) или полной замены рабочего слоя ковш подвергают сушке и первому предплавочному разогреву. Продолжительность предплавочного разогрева в среднем достигает от 12 до 24 часов, а температура разогрева футеровки находится на уровне 1000 – 1200 °С. Разогрев футеровки производят на специальных стендах, оборудованных газовыми горелками, а нагрев фактически осуществляют раскаленными продуктами сгорания газообразного топлива (обычно природного газа). При этом в полости ковша формируется окислительная атмосфера продуктов сгорания, которые содержат газы окислители (O₂, CO₂, H₂O, а также в случаях использования серосодержащего топлива – SO₂). При термообработке углеродсодержащих огнеупоров на пековой или смоляной связке выделяется значительное количество очень токсичных паров, содержащих полициклические ароматические соединения (если это связка пековая тогда присутствует бензапирен, если это фенольные смолы то фенолы и крезолы) [4, 5]. Помимо этого углерод, содержащийся в футеровке, при температурах более 500 °С начинает окисляться кислородом, присутствующим в продуктах сгорания, по реакциям [3]



По данным, приведенным в работе [3], при температурах выше 700 °С протекание реакции (2) более вероятно, поскольку возможна реакция



Проведенные промышленные и лабораторные исследования показывают, что при первом разогреве новой футеровки на стендах сушки и разогрева, вследствие высокотемпературного окисления углерода (графита) в атмосфере продуктов сгорания, на поверхности огнеупора формируется полностью обезуглероженный слой глубиной 8 – 10 мм [6, 7]. Таким образом, в продуктах сгорания могут дополнительно присутствовать монооксид углерода и углекислый газ, являющиеся продуктами окисления углерода, содержащегося в огнеупорах. В связи с этим, большой практический интерес представляет ис-

следование вредных выбросов при разогреве периклазоуглеродистых футеровок сталеразливочных ковшей.

В настоящей работе проведено исследование газообразных выбросов при высокотемпературном разогреве смолосвязанных периклазоуглеродистых огнеупоров на основе плавленного периклаза и чешуйчатого графита марки RI-МС11LC с содержанием углерода 8 – 10 %, которые широко используются для выполнения рабочего слоя футеровок сталеразливочных ковшей. Эксперименты проводили с использованием образцов, имеющих поперечные размеры 14×18×50 мм, вырезанных из кирпичей. Образцы нагревали с разными скоростями до температур 900 – 1000 °С в электрической печи сопротивления СУОЛ-0,25.1/12,5-И1 с нагревателями из карбида кремния в атмосфере воздуха. Температуру образца непрерывно измеряли хромель-алюмелевой термопарой и многоканальным программным регулятором температур «Термодат 19Е2». В процессе эксперимента загрузочное окно печи было открыто для свободного доступа атмосферного воздуха. Состав атмосферы в печи определяли газоанализатором VarioPlus Industrial фирмы MRU GmbH.

На рисунке представлен характерный график изменения температуры образцов и состава атмосферы печи в процессе нагрева.

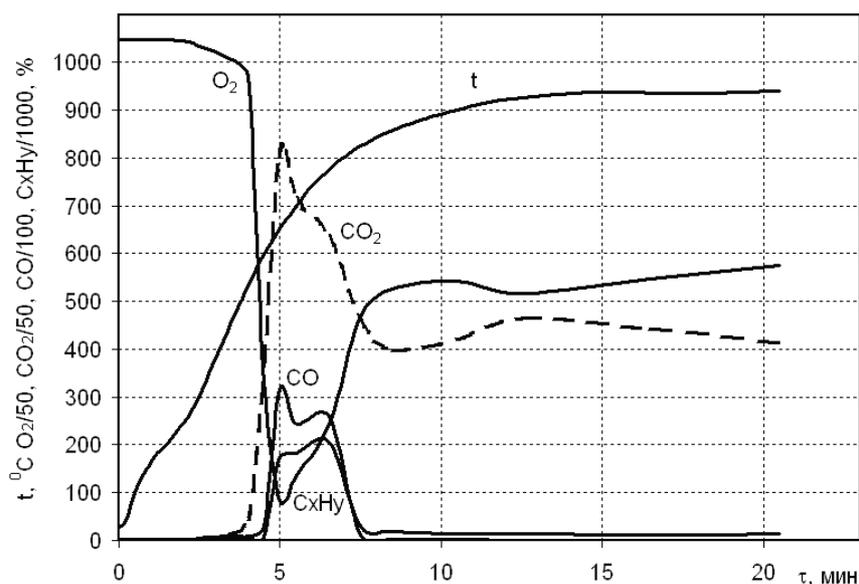


Рисунок – Зависимость температуры и состава атмосферы в рабочем пространстве печи от времени нагрева

Из рисунка видно, что до температур порядка 250 – 400 °С атмосфера печи представляет собой воздух, содержащий 21 % кислорода. При более высоких температурах интенсифицируются окислительные процессы, сопровождающиеся уменьшением содержания кислорода и увеличением доли углекислого газа. В интервале температур 500 – 550 °С наблюдали воспламенение летучих, выделяющихся из огнеупора. Процесс выделения и горения летучих открытым пламенем прекращается при температурах 600 – 650 °С. В период горения летучих происходит интенсивное образование сажи-

стого углерода. Минимальное содержание кислорода в атмосфере печи при этом снижается до 2 %, максимальное содержание углекислого газа достигает 16 %, монооксида углерода – 3 %, углеводородов – 0,2 %. После завершения горения летучих, а также коксования связующего содержание кислорода в атмосфере печи увеличивается до 10 – 12 %, а содержание углекислого газа снижается до 8 %. Максимальные концентрации вредных выбросов для условий лабораторного эксперимента соответствуют температурному интервалу 550 – 800 °С с продолжительностью этого периода 4 – 5 мин.

После завершения горения летучих и коксования связующего в температурном интервале 800 – 1000 °С интенсифицируются процессы окисления графита и антиоксидантов, содержащихся в огнеупоре. В этот период содержание кислорода возрастает, а углекислого газа, монооксида углерода и углеводородов снижается, это связано с замедлением процессов окисления углерода, вследствие увеличения глубины обезуглероженного слоя.

Таким образом, для снижения вредных выбросов в атмосферу при нагреве периклазоуглеродистой футеровки выше 500 °С необходимо создание условий и реализация специальных технологических мероприятий для дожигания монооксида углерода, углеводородов и сажистого углерода, а также проведение санитарно-технических мероприятий, предусматривающих совершенствование систем воздухообмена в производственных корпусах.

На отечественных металлургических предприятиях имеется опыт применения стендов и установок специальной конструкции обеспечивающих снижение вредных выбросов в атмосферу. В частности на ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» стенд для сушки и разогрева футеровки ковшей представляет собой закрытую камеру, в которую устанавливается сталеразливочный ковш с «сырой» футеровкой рабочего слоя. Верхняя крышка камеры съемная, стык между камерой и крышкой уплотнен песочным затвором. Отходящие газы проходят через высокотемпературную камеру дожигания, в которой происходит окисление и разложение вредных выбросов. При температуре 1000 °С углеводороды окисляются до CO_2 и воды. Дожигание бензапирена происходит в факеле газокислородной горелки с избытком кислорода при температуре 1200 – 1300 °С. Процесс дожигания интенсифицируется благодаря слою каолиновой ваты, находящейся в камере и разогретой до температуры 800 °С. Вата является катализатором при просасывании через нее газов. Продукты сгорания, выходящие из камеры дожигания с температурой 1000 °С, смешиваются с холодным воздухом, и их температура снижается до 200 °С [4]. На ОАО «Северский трубный завод» эксплуатируется установка сушки и разогрева сталеразливочных ковшей с камерой дожигания вредных продуктов сгорания [8]. Для удаления и нейтрализации соединений фенола и фенолоформальдегидных составляющих, выделяемых при разогреве футеровки, используют адсорбционно-биохимическую установку. При сушке и разогреве футеровки продукты сгорания удаляются из рабочего пространства ковша по воздухопроводам и подаются на специальную установку, в которой они проходят через слой водного раствора, очищаются и выбрасы-

ваются через дымовую трубу. Оставшиеся в воде фенол и его составляющие перерабатываются микроорганизмами до образования безвредных веществ – воды и углекислого газа [9]. В тоже время эксплуатируемые установки и применяемые технологии снижения вредных выбросов при сушке и разогреве углеродсодержащих футеровок сталеразливочных ковшей имеют ряд недостатков, в связи с этим задача разработки более совершенных (эффективных и малозатратных) способов обезвреживания продуктов сгорания стенов сохраняет свою актуальность и до настоящего времени полностью не решена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С. Окке, С. Андре, Ж.–П. Эраув и др. Характеристика окислительных процессов в углеродсодержащих огнеупорных материалах для металлургии // Огнеупоры и техническая керамика. 2008. № 1. С. 55 – 60.
2. А.В. Можжерин, В.А. Мусевич, А.П. Дука, Р.М. Межиев Применение оксидноуглеродистых огнеупоров комплектных поставок ОАО БКО в металлургических агрегатах // Новые огнеупоры. 2009. № 8. С. 3 – 5.
3. И.Д. Кашеев, И.П. Басьяс, Г.А. Фарафонов, В.И. Сизов Футеровка дуговых сталеплавильных печей. – М.: Интермет Инжиниринг, 2010. – 192 с.
4. Б.А. Чумарин, В.В. Чуйков, Г.Э. Ильин Использование пекодоломитовых огнеупоров в сталеразливочных ковшах // Металлург. 1997. № 7. С. 13 – 16.
5. А.И. Терехин, Н.И. Воробьев, О.К. Токовой и др. Технология термической обработки основных смолосвязанных огнеупоров для установки ковш-печь // Сталь. 2000. № 9. С. 24, 25.
6. Темлянцев М.В., Матвеев М.В. Обезуглероживание периклазоуглеродистых огнеупоров при тепловой обработке футеровок сталеразливочных ковшей // Металлург. 2010. № 8. С. 60 – 62.
7. Темлянцев М.В., Матвеев М.В. Исследование обезуглероживания периклазоуглеродистых огнеупоров при разогреве футеровок сталеразливочных ковшей перед приемом расплава // Изв. вузов. Черная металлургия. 2010. № 10. С. 38 – 40.
8. А.П. Маргишвили, А.В. Можжерин, В.А. Мусевич, А.П. Дука и др. Оптимизация дизайна футеровки сталеразливочных ковшей ОАО «Северский трубный завод» поставок ОАО БКО и повышение ее стойкости // Новые огнеупоры. 2011. № 11. С. 15 – 21.
9. В.Д. Осетров, В.Н. Козлов, С.М. Петров, А.В. Мурзин опыт эксплуатации огнеупоров для футеровки сталеразливочных ковшей в ОАО «Северский трубный завод» // Новые огнеупоры. 2006. № 2. С. 3, 4.

Ю.К. Осипов, О.В. Матехина

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

ШУМ – СЕРЬЕЗНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

В статье показано, что среда, окружающая человека и ограниченная помещением, должна иметь такие характеристики, которые наиболее полно отвечают работе человеческого организма при выполнении данной функции с точки зрения строительной физики. Такой характеристикой является акустический режим, характеризуемый качеством восприятия звука, если оно обуславливается данным функциональным процессом или уровнем мешающего шума, возникающего в помещении или проникающего в него.

In the article shows that the environment surrounding human and limited space, must have such characteristics that best suit the work of the human body in carrying out this function in terms of building physics. This characteristic is the acoustic mode characterized by quality, perceptions of sound, if it is the functional or process level constituting the noise caused by indoor or penetrating into it.

Строительная акустика изучает вопрос звукоизоляции и снижения шума в зданиях ограждающими конструкциями. Обычно шумом называется всякий нежелательный для человека звук.

Шум – серьезная экологическая проблема, он оказывает влияние на здоровье. Шум снаружи и внутри помещения, шумная или тихая атмосфера – при определении качества квартиры или дома этот параметр имеет решающее значение. И все же, по-прежнему продолжают недооценивать вред, наносимый шумом.

Существующие нормы строительства предполагают минимальные требования по защите от шума. Но в существующих домах часто возникает проблема дополнительной защиты от шума. Именно проблема, так как количество мер, определяющих успех в этой сфере, ограничено. Мероприятия по устранению шума часто не дают положительных результатов и даже вызывают ухудшения. Причина заключается в том, что находятся обходные пути распространения шума, а это, в свою очередь, является сложной физической проблемой.

Акустика рассматривает вопросы распространения звука внутри помещения, а звукоизоляция рассматривает воздействия и распространение звука от одного помещения к другому, а также от одной зоны к другой. При этом речь идет как о конструктивной звукоизоляции, так и о звукоизоляции

в свободном пространстве перед зданием, причем последнюю следует рассматривать постольку, поскольку она может влиять на конструктивную звукоизоляцию. Конструктивные мероприятия по звукоизоляции включают планировочные решения по размещению (с учетом их влияния на акустику) технических приборов и оборудования, рассмотрения разделяющих помещения элементов с учетом их звукоизолирующих свойств, а также дверей, окон и конструктивных отверстий.

И архитекторы, и строители, как правило, мало знакомы с проблемой распространения звука. Существенную помощь может оказать только специалист, занимающийся акустикой строительных сооружений. Шумовая нагрузка может возникнуть снаружи дома или может быть вызвана соседями по дому. При наружном шуме ненадежными зонами с точки зрения акустики в доме могут быть наружные стены, окна и двери, крыша, вентиляционные отверстия, дымоходы, подсобные помещения и коридоры. Ненадежные зоны внутри дома – стены, перекрытия, двери, коммуникации. В практике строительства именно этим строительным зонам и уделяют внимание, проводя мероприятия по звукоизоляции, звукопоглощению или снижению распространения звука, то есть прерыванию путей распространения.

В принципе существует два типа шума: воздушный и корпусной. воздушный шум (звук) распространяется от источника звука по воздуху и может вызвать вибрацию, например, стен и покрытия. Удар по конструкции, например, удар молотком по стене, вызывает корпусной шум. Распространение корпусного шума в конструкциях перекрытия называют ударным шумом.

Знать различие между типами шума важно хотя бы потому, что борьба с разными видами шума ведется по-разному.

В зависимости от источников рассматриваются шум транспортный, промышленный и бытовой. Главной причиной транспортного шума является уличное движение. Создаваемый автомобилями уровень шума возрастает на 6 дБ при увеличении в два раза плотности движения. Зависимость уровня громкости шума, создаваемого машиной, от ее мощности показывает, что уровень вызываемого ею шума повышается, если увеличивается скорость машины и возрастает уклон дороги. При движении транспорта по шероховатым и мощеным улицам средний уровень шума возрастает в зависимости от скорости и числа проезжающих ежедневно автомобилей.

При количественной оценке звукового давления в основное время движения средний расчетный уровень шума принимается не менее 50 дБ (А). При расчете шумовых нагрузок от рельсового транспорта действительны положения, установленные для уличного движения.

Промышленные установки обладают комплексом источников шума, и уровень шумового давления различных установок сильно колеблется. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо проводить измерения, если для нужд проектирования нет нормированных значений. При проектировании и учете наружного шума принимают во внимание ориентацию, членение

и форму здания, наличие окон и балконов, устройство насыпей и заборов, организацию зеленых и защитных зон, подъездов и разъездов, а также планировочные решения отдельных зданий.

Эффективность защиты зданий от звуковых волн увеличивается с расстоянием, при этом действенность защиты возрастает при озеленении пространства, расположенного перед источником шума. Удовлетворительные результаты защиты могут быть получены в том случае, если озелененная зона простирается более чем на 100 м.

Эффективность экранирующих стен или насыпей следует проверять предварительным эскизированием. При этом экраны устраивают близко к источнику шума, с тем, чтобы защитить свободное пространство, расположенное между источником шума и зданием. Поэтому необходимые насыпи и стены следует располагать сбоку за границами застраиваемого участка, или в дальней его зоне.

Для предотвращения повышения уровня звукового давления вследствие отражения звуковой волны от стены препятствия, защитное сооружение должно обладать звукопоглощающими свойствами или иметь отклонение от вертикали. Удовлетворительными мероприятиями также следует считать строительство зданий с закрытой формой дворов при застройке строго параллельно улице. При этом внутри дворов образуются зоны, уровень шума которых не превышает 30 дБ.

При проектировании изоляции от воздушного шума внутренних стен уделяется внимание выбору конструкций, материалов, несущей способности, стоимости, а также проверке их звукоизолирующей способности. При этом в первую очередь следует оценивать шумовую нагрузку от соседнего помещения, которая определяется архитектурно-планировочным решением – функциональным назначением последнего и определяет величину затрат на необходимые звукоизоляционные мероприятия. Далее выбирают вид ограждения (однослойное или многослойное). Сюда относятся сведения об изоляционных свойствах стеновых конструкций.

Так как звукоизоляция от внешнего шума зависит не только от типа перегородок и качества их выполнения, следует принимать во внимание все конструкции ограждающие интересующее нас помещение. Затем следует проанализировать с точки зрения звукоизоляции перекрытия, окна и двери и рассмотреть их изоляционные свойства совместно со стенами и перегородками. Результатом такого поэтапного всестороннего рассмотрения всех сторон проблемы является принятие проектного решения по конструкциям перекрытий, перегородок, окон и дверей.

Рекомендации по проектированию и конструированию касаются сферы деятельности архитектора и не требуют привлечения инженера. Кроме того, рекомендации должны помочь упростить совместную работу архитектора с отдельными специалистами, поскольку они отражают определенные планировочные и конструктивные требования.

Архитектурно-планировочное решение. Вначале следует еще раз указать на возможности звукоизоляции, создаваемой за счет рационального планировочного решения. Благодаря объемно-пространственному разделению громких и тихих зон в определенной степени решается проблема звукоизоляции, а конструктивные затраты уменьшаются. Это разделение означает группировку всех шумных помещений, отделение их от чувствительных к шуму зон и изоляцию последних.

Лифтовое оборудование. Уровень излучаемой машинами мощности звука зависит от установленной мощности двигателей. При этом следует различать конструктивные мероприятия по звукоизоляции, направленные на уменьшение переноса воздушного и корпусного шума. Наряду с мероприятиями по звукоизоляции для одновременного снижения уровня шума, рекомендуется применение звукопоглощающей облицовки стен и (или) перекрытий.

Вентиляционные каналы и каминь. Перенос звука происходит как через стены, так и через воздушное пространство. Отсюда могут быть сделаны следующие выводы: стены каналов выполняются плотными и тяжелыми. Перенос звука через поперечное сечение канала снижается тем больше, чем больше энергии поглощается на пути между отверстиями канала. Поэтому каналы с пористыми внутренними поверхностями предпочтительнее каналов с гладкими стенами. Кроме того, путь переноса звука должен быть длиннее, а поперечное сечение меньше. При устройстве сборных шахт с главными и второстепенными стволами за счет более длинного пути в виде нескольких высот этажей и изменения направлений при расположенных одно над другим помещениями обеспечивается достаточная минимальная звукоизоляция.

Санитарно-техническое оборудование. Звукоизоляция в системе водоснабжения начинается с правильного выбора приборов. Перенос корпусного шума в трубопроводе может уменьшиться с помощью гасителей водяного шума. Изоляция корпусного шума, распространяющегося в конструкциях, жестко связанных с оборудованием, представляет собой одну из основных проблем. Из этого следует, что трубопроводы не должны быть жестко связаны со стенами и перекрытиями.

Прочие устройства здания, производящие шумы. Устройства для мусороудаления из-за высокого уровня производимого ими корпусного шума вследствие ударов от падения мусора должны быть тщательно отделены от остальных конструкций. Конструкцию шахты мусоропровода следует выполнять двухслойной. При устройстве отверстий для приема мусора необходимо обратить внимание на то, чтобы не возникали акустические мостики между шахтой и окружающими стенами.

На основании вышесказанного можно рекомендовать следующие мероприятия по борьбе с шумом в помещениях: тщательная заделка стыков, мест сопряжения перекрытий и перегородок с другими конструкциями; использование конструкций из плотных материалов (для борьбы с ударными шумами); использование многослойных конструкций – т.к. на границе двух

смежных сред энергия звуковых волн уменьшается за счет отражения от поверхности каждого слоя; использование специальных элементов в составе конструкций и узлов для гашения ударных шумов до их распространения в несущих конструкциях: упругие прокладки, упругие основания для конструкции пола; использование подвесных потолков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковригин С.Д. Архитектурно-строительная акустика / С.Д. Ковригин, С.И. Крышев – М. : Высшая школа, 1986 – 252 с.
2. Шильд Е. Строительная физика / Е. Шильд, Х.-Ф. Касельман, Г. Дамен, Р. Поленц – пер. с нем. В.Г. Бердичевский. Под ред. Э.Л. Дешко – М. : Стройиздат, 1982 – 296 с.

ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 008

Н.К. Анохина

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

ВОПРОСЫ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ СОВРЕМЕННОЙ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

Данная статья посвящена вопросам образования и науки современной высшей школы.

The article deals with the questions of education and science of the modern higher school.

Данная статья носит обзорный характер. В ней рассматриваются актуальные вопросы науки и образования современной высшей школы. Сегодня Российское образование находится в стадии реформирования, университеты переходят к уровневой системе подготовки. В этих условиях образование ориентировано не столько на содержание образовательной программы, сколько на результат обучения, выраженный набором общекультурных и профессиональных компетенций. (Компетенция есть способность применять знания, умения и личностные качества для успешной деятельности в определенной области [1, с. 4]).

Компетентностный подход формирует творческий и профессиональный потенциал специалиста. В такой системе обучения с практической точки зрения важным представляется дифференциация методики обучения на методику формирования самих компетенций и методику проверки качества сформированных компетенций, причем для разных направлений они должны быть глубоко осмыслены и проработаны. В этом видится большая предстоящая работа преподавателей высшей школы. Как отмечает автор ниже названной работы, при разработке новых методик следует иметь в виду, что опыт реализации основной образовательной программы в конкретном вузе на основе требований ФГОС ВПО пока отсутствует. Образовательный процесс, содержащий компетентностный подход, следует рассматривать как процесс накопления методик и методических разработок с их уточнениями и дополнениями. И только после первого выпуска бакалавров и магистров можно будет оценить эффективность их подготовки [2, с. 7-10]. В стандартах нового поколения продемонстрирован переход на инновационные технологии, внедрение активных и интерактивных методов обучения, активизацию самостоятельной работы студентов. Этот момент отражен на практических, семинарских занятиях, в отчетах самостоятельной работы студентов (курсовые работы и проекты, лабораторные работы, домашние творческие задания, эссе, рефераты, деловые игры, коллоквиумы) и формах подачи лекционного материала. Акцентирование на формировании тех или иных компетенций в процессе обучения способствует более глубокому их

осознанию учащимися и применению на практике. При современных технологиях обучения качество подготовки выпускника высшей школы зависит от совместных и согласованных усилий преподавателя и студента. Задача преподавателя сводится не столько к передаче знаний, умений, навыков и опыта предыдущих поколений, сколько в формировании у студента потребности и стремления к самостоятельному поиску новых знаний, появлению более активной жизненной позиции, более деятельному участию в определении своей образовательной траектории [2, с. 10].

Важными общими проблемами высшего образования остаются проблемы преодоления фрагментарного отношения к реальному миру целостного человека; соблюдение гармонии мер природного, социального и индивидуального в единстве нормативного и творческого в педагогических, психолого-валеологических и культурологических технологиях. В научном отношении эта задача актуальна потому, что до сих пор не разработана теория целостности образования и соответствующая ей методология. Тем не менее, ряд исследователей работают над созданием пробных моделей образования, которые бы обладали способностью формировать, продуцировать, репродуцировать становление творческой, гармонически целостной, культурно развитой личности на основе принципа системности, целостно-субстанционального и деятельностно-аксиологического подходов [3, с. 3].

С целью ознакомления существующих идей в этой области и их использования для дальнейшего развития на практике имеет смысл указать некоторые подходы, выбрать работающие концепции, принципы. Автором данной статьи с учетом поставленной задачи сделана следующая подборка. Прежде всего, это – эстетическая доминанта в образовательном процессе, эстетико-культурологический принцип целостного подхода, сознательный уход высшей школы от крайностей и односторонности, технократизма и бездуховности, наличие исходной культурной парадигмы, способной подготовить учащегося к современной (информационной) коммуникативной системе, конкурентоспособности, мобильности. В связи с этим историческое и конкретно практическое обобщение осмысления образовательного процесса как целостного, самодостаточного, вечно-обновляющегося и саморазвивающегося феномена, а также соблюдение гармонии мер нормативного и творческого в педагогических парадигмах образования должно быть заложено в программе развития высшей школы как основного принципа.

Переживаемый сегодня «инновационный бум» развития образовательных структур справедливо указывает на ограниченность абсолютизации традиционно-нормативных форм, сложившихся в теории образования, на необходимость обращения к творчеству как к средству решения возникающих проблем, но с диалектической увязкой к принципу нормативности [3, с. 4] и, конечно, индивидуально-ориентированному обучению.

Переоценка системы высшего образования востребована самим временем. В XXI веке, как отмечают известные социологи, философы, ученые особо значимой становится проблема диалога культур, а значит, представляет боль-

шой интерес сам человек, его такие свойства личности, как толерантность, уровень образованности, мировоззрение, поведение в обществе и пр. В формировании такой личности применяют следующие педагогические практики: гармонизация личности в едином союзе науки и культуры, появление выдающейся личности, творящей мир заново (В. Гумбольдт); элементы педагогики сотрудничества и гуманной педагогики (Ш.А. Амонашвили); идея народности всех компонентов педагогического процесса, приобщения каждого ученика к национальной культуре, её духу, букве (К.Д. Ушинский); воспитывающее обучение (И.Ф. Герbart); прогрессивистская концепция, гуманизм Дж. Дьюи, (активность и диалог с обществом, обучение и знание как процесс преодоления трудностей, разрешения проблем повседневности) и пр. [3, с. 11, 23, 29].

Сегодня даже такая дискуссионная проблема: апелляция исключительно к разуму (требуется развить человека до уровня свободы в культурном пространстве) связана с ответственностью личности, то есть человек как субъект деятельности, и вообще обращение к человеку как фактору эволюции, к его персоне начинает играть важную роль в современном мире. Он начинает занимать центристское место в культуре, социуме, науке. Конечно, в последнем случае огромную роль играет и открытие самоорганизующихся сложных систем, которые часто включают человека, как свою составляющую компоненту, что накладывает определенные запреты на стратегию взаимодействия, виды деятельности, ограничение свободы экспериментирования.

Из перечисленных методик обучения в статье видно, что процесс образования неразрывно связан с наукой, социокультурным пространством и нравственными принципами, глубинными структурами психики человека. Возникает идея нельзя ли ситуации образовательного процесса рассматривать как автопоэтический процесс, когда, например, в естествознании при рассмотрении саморазвивающихся объектов происходит поворот от предметного ориентированного познания к познанию реальности, понимаемой как взаимосвязи, отношения, от реальности вещной визуально наблюдаемой к реальности, конструируемой в сознании. Слово «автопоэзис» (autopoiesis) происходит от греческих слов autos – само и poiesis – достраивание. Автопоэтический процесс (У. Матурана, Ф Варела, Э. Янч), если сказать философским языком, такой познавательный акт, который обозначается как конструирование бытия сознанием. Познание недостаточно истолковывать уже как интеллектуальное производство. Смысл познания в том, что объект конструируется в интеллектуальном и культурном пространстве деятельности человека [4, с. 36]. Тогда, в культурно-образовательном пространстве при таком подходе будут отражены и учтены еще нравственно-этические принципы, гуманизация, социальные отношения и пр.

Успешное развитие демократических основ жизни социума, осуществление интеграции внутренних и внешних связей высшей школой, способствуют возможности выхода ее на уровень органического единства образования, науки и культуры, творчества и высокой духовности.

Качества личности, ее ценностные ориентации, эстетические принципы, научное мировоззрение играют огромную роль в стабильности общества. Сегодня интеграция России в мировое сообщество обусловлена наличием высококлассного специалиста, уровнем высокотехнологичного производства на инновационной основе и преобразованием управленческо-информационной системы, где образование занимает одно из первых мест.

Научная деятельность в вузе, ее состояние также является важной проблемой. Наука и образование неразрывно связаны друг с другом. В России с дореволюционных времен университет получил статус «центра науки, образования и культуры, центра пропаганды научных знаний». Российское образование всегда славилось своими научными школами, возглавляемыми ведущими специалистами, известными учеными. К сожалению, сегодня мы отмечаем резкий спад научной деятельности в вузах. Вообще, нужно сказать, это – не лучшие времена для российской науки. Об этом свидетельствуют такие факты [5, с. 9]. По числу изобретений за 2002-2006 гг. на первых местах были следующие страны: Япония, Швейцария, США, Швеция и Финляндия. Россия только на 37 месте. Та же картина через 5 лет, за 2007-2011 гг. Россия на 36 месте, Финляндия на 7, хотя у нее специалистов, работающих в научном секторе, меньше на порядок. Выпуск инновационной продукции в России сократился в 70 раз. Притом, что в России 6 государственных академий наук и более 1000 учебных заведений с огромным количеством исследователей.

Такую низкую отдачу эксперты объясняют действующим законодательством и связанной с ним системой мотивации творческих коллективов и отдельных ученых.

Следующей главной причиной низкой инновационной деятельности называют неэффективность использованных средств и тут же сопутствующую коррупцию.

Есть данные, что на научные исследования у нас в стране тратится средств не меньше, чем за рубежом, а в некоторых сферах даже больше. Но положительного результата пока нет [5, с. 9-10].

В проекте об образовании есть статья об инновациях, но в ней только общие положения и ни слова о поддержке инновационной деятельности. В университетах для успешной деятельности должны быть созданы такие условия, при которых не быть активным в инновационном отношении невозможно, невыгодно как с моральной, так и с материальной точки зрения. В коллективах, известных своими достижениями, работают не по принуждению, в них обычно присутствует дух творчества, креатив.

Следует заметить, что в эпоху социализма вузы получали министерские задания на выполнение научно-исследовательских работ, так называемых хозяйственных работ, практически все преподаватели были задействованы в них и материально заинтересованы. Они получали 0,5 ставки за научно-исследовательскую деятельность. Поскольку сама тема исследования требовала серьезного отношения к работе, и объем работ был немаленький, к научной деятельности привлекалось большое количество студентов. Сегодня эта систе-

ма разрушена, научная деятельность не оплачивается, зарплата преподавателей в вузах низкая, а вероятность выиграть грант у ведущих вузов очень мала.

Сегодня экономические условия деятельности учебных заведений просто неадекватны условиям и потребностям рыночной экономики. Зачастую образование сегодня не только стимулирует экономический рост, а выступает его тормозом. Следовательно, необходима разработка и введение новых критериев оценки деятельности учебных и научных учреждений учащихся [5, с. 11]. Очевидно, настало время менять ситуацию.

Для успешного развития высшего образования в России ряд ученых предлагают инициировать следующие мероприятия в науке и образовательной системе на высоком качественном уровне:

- 1) внедрить независимую компетентную экспертизу, осуществлять текущие и стратегические прогнозы;
- 2) вводить высокие стандарты в массовом образовании;
- 3) создавать элитное образование, формирующее группы с высоким уровнем интеллектуальной мобильности.

Эти рекомендации пока не осознаются должным образом ни обществом, ни правящей группировкой.

Технологическое развитие общества идет по пути интеграции науки, производства и образования. Известно, что высокий уровень науки транслируется позднее в прогресс техники, что еще раз подчеркивает важность качества образования и научной деятельности в вузе.

К выше сказанному добавим, что дополнительные исследования особенностей методики обучения в высшем профессиональном образовании требуют ориентации на инновационное развитие российской экономики. Выпускник призван быть не только исполнительным, но и инициативным, творчески мыслящим профессионалом, потенциально способным организовать – свое собственное дело. Мировая практика показывает, что в этом случае экономика страны и общества в целом получают дополнительный мощный и устойчивый импульс к движению вперед [2, с. 10-11].

Компетентностный подход предполагает развитие такого качества у специалиста как «экономическую направленность или заинтересованность». В связи с чем следует обратить внимание на современные социальные проблемы общества.

В этом аспекте представляет интерес международный форум «Наука и общество», V Петербургская встреча лауреатов Нобелевской премии 2010 г. [6]. Некоторые из рассматриваемых там вопросов обозначим здесь: новые достижения в науке, переосмысление основ и принципов обеспечения социально-экономического развития, пути преодоления социально-экономического неравенства, модернизация социально-экономического пространства. Актуальными прозвучал вопросы о не формулировании новых конструкций «идеального» государства, о переоценке естественных социальных основ права и власти, которые постоянно проявляют себя на практике, о принципиальном изменении социальной структуры общества. Интересную закономерность в мире отмети-

ли экономисты высшего ранга, речь идет о ГЛЭМ – капитализме, для которого характерно превращение гламура в ресурс и конкретное преимущество на рынках, перенасыщенных уже не только продуктами, но и брендами, где товар должен быть агрессивно красивым, чтобы быть актуальным. Как видим, в этих проблемах явно отражается востребованность в разносторонне развитом профессионале.

Отвечает на эти запросы образование, включающее компетенции и эстетико-культурологический принцип целостного подхода, инновационные методики обучения. Сегодня в глобализирующемся мире идет формирование нового более целостного поля экономики, финансов, культуры, образования, политики и информации. В этом мире большая роль отводится именно науке, образованию и особенно человеку.

В заключение можно сказать, что в статье обсуждены актуальные проблемы высшей школы, которые определяет ее методологическую, мировоззренческую и гуманистическую ценность, представлены образовательные практики разных ученых, проанализированы некоторые причины отставания российской науки в мировом сообществе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медведев В. Подготовка преподавателя высшей школы: компетентностный подход /В. Медведев, Ю. Татур //Высшее образование в России. – № 7.– 2011. – С. 46-56.

2. Поспелов В.К. Проблемы перехода к уровневой системе подготовки //В.К. Поспелов, Н.Н. Комисарова //Высшее образование в России. – № 10.– 2011. – С. 3-11.

3. Быстрова А.Н. Современное образование в контексте целостного подхода (К обоснованию метода эстетико-продуктивной педагогики) /А.Н. Быстрова и др. /Под ред. д.ф.н., проф. В.М. Видгофа. – Томск: Томский государственный университет, 2005. – 252 с.

4. Черникова И.В. Постнеклассическая наука и философия процесса /И.В. Черникова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2007. – 252 с.

5. Зернов В.А. Новый закон об образовании. Куда пойдём к инновациям или к стагнации? /В.А. Зернов //Высшее образование сегодня. – № 1.– 2011. – С. 8-12.

6. Санкт – Петербургский научный форум «Наука и общество»: Экономика и социология XXI века (V Петербургская встреча лауреатов Нобелевской премии 18 – 22 октября 2010 г.) //Тезисы докладов. – С.-П.: Изд-во Политехнического университета, 2010. – 357 с.

Н.К. Анохина, О.П. Бабицкая

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

НОВЫЙ АКЦЕНТ ФИЛОСОФИИ И МАТЕМАТИКИ В СОВРЕМЕННОМ ЕСТЕСТВОЗНАНИИ

В данной статье рассмотрена роль философии и математики в формирующейся постнеклассической научной картине мира.

The role of philosophy and mathematics in the forming post-non-classical scientific picture of the world is considered in this article.

Современная наука по многим вопросам начинает отходить от традиционного мировосприятия. Например, в традиционном варианте все вещи рассматриваются как материальные единицы, поддающиеся измерению, а в новом подходе материя трактуется как совокупность упорядоченных потоков энергии, которые взаимодействуя, могут порождать непредсказуемые процессы и автономно возникающие феномены. Традиционное восприятие мира атомистично и фрагментарно, а новый взгляд учитывает связи между людьми, между людьми и природой и даже между земным шаром и остальной Вселенной. Новый взгляд трактует природу как спонтанную самоорганизующуюся целостность организмического толка, базируется на взаимном приспособлении людей друг к другу, примирении, толерантности, учете отношений между людьми и другими видами живых существ, на ценностях биосферы, выраженных терминами «коэволюция», «системность». Исследования квантового вакуума открывают физикам самоорганизующуюся многоуровневую систему, которая по сложности сопоставляется специалистами с социальными системами. Науки о живом претерпевают не менее революционные изменения. Биотехнологии по сути дела подводят к рубежу искусственного конструирования жизни и человека [1, с. 9-10]. Представление о мире, которое складывается в современной науке, столь радикально меняется, что это затрагивает не только профессиональные круги, но и является основой нового мировоззрения, и ведет к новому образу отношений «Человек–Мир». Происходящие парадигмальные перемены требуют радикального изменения в наших представлениях, в мышлении, в системе наших ценностей, и, конечно, глубочайшего философского осмысления.

Если говорить о теоретизации современной науки, то её уровень настолько высок, что специалисты, работающие в одной области (например, в физике) не могут говорить на одном языке. Математизация научной сферы идет не только в естествознании, но и в социальных, экономических и гуманитарных дисциплинах. Математика и философия начинают играть настолько

важное значение в современной научной картине мира, что сегодня, вероятно, о них можно говорить как об универсальных дисциплинах.

Философия обеспечивает новое видение как объектов, преобразуемых в человеческой деятельности, так и самого субъекта деятельности, его ценностей и целей в результате рефлексии над различными феноменами культуры (науки в том числе), т.е. анализа категорий материальной и духовной жизни человека, выработки новых категорий и установления содержательно-логических связей между ними как системы. Именно благодаря такому оперированию во многом обеспечивается развитие в философии нестандартных категорий моделей мира, на основании которых описываются эволюционные процессы (В.А. Степин).

Поскольку в современном мире все больше проблем требуют междисциплинарного подхода, постольку всё больше точек соприкосновения находят сегодня философия, математика и естествознание.

Из истории хорошо известно, что еще Платон делал попытки математизировать античную науку-философию. В пору Средневековья лидеры господствовавших тогда философских учений нередко решали логико-философские проблемы, тесно увязывая их с проблемами математики, рассуждая о бесконечности, о сотворении мира. Французский математик XIX в. Л. Пуансо, занявшись исследованиями теории чисел, посчитал необходимым обратиться к философии, поскольку увидел, что эта тема не только пересекается, но тесно связана с философскими проблемами [2, с. 14].

Близкие мысли о взаимных отношениях математики и философии высказывает несколько десятилетий спустя другой видный ученый XIX в., представитель немецкой науки Ф. Клейн.

Математики и логики, строя аксиоматические системы (Рассел, Уайтхед, Цермело, Френкель и др.), исходили из того, что аксиом и правил вывода системы достаточно для того, чтобы решить любой математический вопрос, который может быть формально выражен в соответствующих системах. Следовательно, аксиоматизированная арифметика полна или может быть пополнена добавлением конечного числа аксиом.

Гедель как раз и доказал в своей теореме о неполноте, что все подобные построения, содержащие в качестве своей части формальную арифметику, неполны. Это значит, что в них всегда можно сформулировать проблему, построить предложение, которое нельзя ни доказать, ни опровергнуть. Следовательно, объяснение мира с помощью только логических изысканий невозможно и выводы Геделя имеют не только логическое, и не только общенаучное значение, но как считают исследователи, они открывают возможность постижения человеческой мысли, они говорят о каком-то фундаментальном, глубинном свойстве мышления и даже самой жизнедеятельности [2, с. 119,123]. Открытие Геделя изменило предмет логики как науки. Сегодня отслеживается «наполнение» математических теорий философскими концептами. Так, неевклидова геометрия Н.И. Лобачевского, геометрия Б. Римана и пространство Г. Минковского (для специальной теории относительности) формируют разное представление о пространстве и времени. Из современных математических многомер-

ных конструкций пространства, теории суперструн (квантовая гравитация) следует, что пространство-время динамично. Осмысление теорий такого уровня указывает на тенденцию «слияния» математики, философии и естествознания в порядке усложнения описания устройства и понимания нашего мира.

Авторы данной статьи считают, что эта проблема «сближения», «пересечения» названных дисциплин касается ценностного самоопределения личности человека, поскольку утверждает целостность мира и ответственность человека перед миром и культурой. «Ценностное самоопределение как педагогический феномен представляет собой процесс обретения личностью смысла, целей и ресурсов собственной жизни в пространстве и времени образования. Он предполагает качественные изменения в отношении личности к собственной жизни благодаря формированию представления личности о мире и осмыслении своего места в нем. Аксиологическая парадигма педагогики базируется на новом осмыслении процессов образования как восхождения самой личности к ценностям культуры и науки на основе всеобщего философского диалектического закона возвышения потребностей» [3, с. 21].

В этой связи известно замечание А. Эйнштейна: «Если под философией понимать поиск знания в его наиболее широкой форме, то очевидно ее можно считать матерью всех научных исканий», т.е. условием успеха в овладении природой, стратегией научного поиска [2, с. 15].

По мнению М. Даммита, представителя аналитического направления, обратившего внимание на язык физики и математики, «философия может быть принята нами только как то, что дает возможность овладеть ясным видением тех понятий, посредством которых мы думаем о мире, и таким образом достигнуть более точного охватывания того способа, каким мы репрезентируем мир в нашем мышлении» [4, с. 1].

Сегодня математика, реализуя внутренние потенции, поднялась к абстракциям, особенно отрешенным от мира действительности. Конечно, она всегда умела находить аналогии, выявляя сходства часто весьма далеких явлений, наводя между ними перемычки. Но если в начале то были аналогии между утверждениями и доказательствами, позднее между теориями (за которыми стояли уже более абстрактные объекты, чем констатируемые утверждениями и описываемые доказательствами), то современная математика ставит вопрос о самой природе аналогий. Все это усиливает роль формальных методов исследования и развития в математике тех начал, которые делают ее «скоплением абстрактных форм». Итак, видно немало фактов позитивного влияния философии на математику, как и событий обратного влияния.

Представляя собой тип формального знания, математика занимает особое место в отношении наук фактурального профиля. Она оказывается хорошо приспособленной для количественной обработки любой научной информации, независимо от ее содержания. Более того, во многих случаях математический формализм оказывается единственно возможным способом выразить физические характеристики явлений и процессов, поскольку их естественные свойства и особенно отношения непосредственно не наблюдаемы. Место математики

в системе наук определяется также тем, что она играет для других дисциплин и роль методологии. Математика является также способом мышления, инструментом доказательства и выполняет функцию общенаучного метода, принимая на себя, можно сказать, обязанности философской методологии.

Обладая способностью представлять любую информацию в виде количественных характеристик, математика вырабатывает и особые; отличные от естествознания приемы исследования, это математический эксперимент, математическая гипотеза, математическое моделирование. Их специфика состоит в том, что вместо операций с веществом и энергией они добывают результат путем решения соответствующих дифференциальных уравнений, интерпретируя затем полученные числовые выражения в терминах содержательного значения.

Еще одно методологическое назначение математики состоит в том, что она вырабатывает для остальной науки, прежде всего для естествознания, структуры мысли, формулы, на основе которых можно решать проблемы специальных наук. Это обусловлено все той же особенностью математики, позволяющей ей описывать не свойства вещей, а свойства свойств, выделяя отношения, независимые от каких-либо конкретных свойств, т.е. отношения отношений. И поскольку отношения вводимые математикой, особые, то ей удастся проникать в самые глубокие характеристики мира и разговаривать на языке не просто отношений, а структур, определяемых как инварианты систем [2, с. 52, 58, 64].

Глубинные проникновения в природу, с одной стороны, и позволяют математике исполнять роль методологии, выступая носителем плодотворных гипотез и утверждений. С другой стороны, математика служит «каркасом» этого мира, а философия вносит идеи жизнеутверждающего смысла. В этом видится интеграционный процесс между математикой, философией и естествознанием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черникова И. В. Постнеклассическая наука и философия процесса /И.В. Черникова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2007. – 252 с.
2. Сухотин А.К. Философия математики: Учебное пособие /А.С. Сухотин. – Томск: Изд-во Том.ун-та, 2004. – 230 с.
3. Кирьякова А.В. Аксиологическая парадигма современного университетского образования /А.В. Кирьякова //Высшее образование сегодня. – № 1. – 2011. – С. 19-21.
4. Dummett V. TH. Logical Basic of Metaphysics. Cambridge; Massachusetts: Harvard University Press, 1991.

Т.А. Михайличенко, О.Б. Громова

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

ФГБОУ ВПО «Московский государственный вечерний металлургический институт», г. Москва

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ СТАНДАРТЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ: ПУТИ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

В статье обсуждаются отличительные особенности новых образовательных стандартов (ФГОСов). Определяются условия подготовки инновационноориентированных специалистов с позиций готовности к этому процессу как преподавательского корпуса, так и самого вуза.

In this article distinctive features of new educational standarts (FSES) are discussed. Conditions of training of the innovative-focused specialists from positions of readiness for this process both the teaching case and the high school are defined.

В 2011 году процесс перехода вузов России на федеральные образовательные стандарты нового поколения (ФГОСы), реализующие двухуровневую подготовку специалистов, вступил в завершающую стадию. Реформирование системы высшего профессионального образования в России в рамках реализации Федерального закона от 1 декабря 2007 г. N 309-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части изменения понятия и структуры государственного образовательного стандарта» направлено на существенное изменение содержания, формы и методов организации самого учебного процесса.

Согласно Национальной доктрине образования РФ на период до 2010 года главной задачей политики в этой области является обеспечение современного качества образования на основе сохранения его фундаментальности, которая всегда считалась едва ли не самым главным достижением российской системы высшего профессионального образования. Особенность нынешней образовательной реформы состоит в том, что необходимым условием для интеграции России в Болонское образовательное сообщество является компетентностный формат образовательных программ.

Современная концепция образования, разработанная Министерством образования и науки и утвержденная Государственной Думой Российской Федерации, предполагает двухступенчатую систему подготовки (бакалавриат – магистратура). До этого вуз имел право выбирать систему обучения: монолитную (подготовка специалистов) или уровневую (подготовка бакалавров и магистров).

Аспекты образования в иерархической последовательности можно представить таким образом: педагогический процесс – образовательная система – результат образования. Неудовлетворенность потребителей образовательного продукта конечным результатом образования и привела к переходу от понятия «квалификация» к понятиям «компетентность» и «компетенция». Объективными причинами необходимости такого перехода стали: разрушение рамок профессиональной замкнутости, отсталость в техническом прогрессе в мировом масштабе, социокультурный контекст жизни вуза и общества и др.

Каждый образовательный стандарт (ФГОС) разрабатывается на базе предварительных социологических исследований и учитывает маркетинг, культурную и общественно-личностную ориентацию, принципы модульности и активного обучения. Заметим, что ФГОС содержит только базовые компетенции, а вариативную часть компетенций вуз дорабатывает сам, учитывая потребности общества, государства и конкретных работодателей, а также свой научно-педагогический потенциал. При этом образовательная система проектируется как компетентностно-ориентированная, т. е. такая, в которой к профессиональным компетенциям, более знакомым нам как квалификационные характеристики, добавляются универсальные, личностно-ориентированные компетенции.

Другими важными новациями ФГОСов являются модульный подход к построению образовательной программы и кредитная система оценки трудоемкости учебной работы (система зачетных единиц). Модульная система обучения предполагает жесткое структурирование учебного материала, который предлагается студенту в готовом, дозированном виде. Модуль совпадает с темами учебных дисциплин, но, в отличие от темы, в модуле все его составляющие подлежат оценке: задания, работа, посещение, стартовый, промежуточный и итоговый контроль (как правило, тест). В модули прекрасно вписывается рейтинговая система оценки знаний. Модульная система удобна для студентов (по затратам времени и форме), преподавателей (из модульных блоков можно компоновать комплексы для разных курсов) и учебного заведения (возможность обучать большее количество студентов без изменения штата преподавателей и учебно-материальной базы). Следует также отметить, что это сложившаяся западная практика.

Необходимость ежегодного обновления основных образовательных программ с учетом развития науки, техники, экономики, социума и культуры в новых ФГОСах закреплена законодательно. Между тем, ФГОС никак не связывает триаду «образовательные модули – система зачетных единиц — компетенции». По-видимому, предполагается, что эта задача будет решаться каждым конкретным вузом при проектировании компетентностно-ориентированных образовательных программ, исходя из собственного научно-исследовательского, педагогического, экономического потенциала.

Компетенции можно сформировать только действием, поэтому преподаватель, работающий в инновационной среде новых ФГОСов, должен быть ме-

неджером, реализующим принципы активного обучения, которые, в основном, сводятся к следующему:

- принудительная активизация мышления и поведения обучающегося (создание таких условий, чтобы обучающийся не мог не думать и не делать);
- паритетность активностей обучающегося и преподавателя;
- повышенная степень мотивации, эмоциональности, творчества;
- обязанность взаимодействия обучающихся между собой и/или с преподавателем;
- поэтапная оценка успешности и полноты усвоения материала.

Для достижения поставленных новым ФГОСом целей должна быть сформирована особая образовательная среда, которая структурно состоит из совокупности форм и методов учебной деятельности, разработанных на основе менеджмента и мониторинга учебно-воспитательного процесса и целого комплекса социально-значимых факторов. Очень важно, что новый ФГОС, в отличие от всех предыдущих, большую роль в образовательном процессе отводит студенту. Даже появился такой термин – «студентоцентрированность». Студенты имеют право формировать индивидуальную программу обучения, а при выборе индивидуальной образовательной траектории получать консультации по формированию будущего профиля подготовки.

Анализ методических разработок идеологов внедрения компетентностного подхода в российское образование (В. И. Байденко, И. А. Зимняя, Н. В. Борисова и др.) позволяет выделить следующие отличительные качества преподавателя-менеджера:

- рассматривает студентов как ресурс образовательного процесса,
- верит в способность студентов справиться со всем самостоятельно,
- передает значительную часть ответственности за обучение и контроль студентам,
- четко представляет, чему и как учить, чем обеспечить процесс обучения, каковы критерии оценки, технологии обучения и т. д.

Именно такой преподаватель способен наполнить учебный процесс технологиями активного обучения, использование которых в учебном процессе выводит его на качественно иную, технологическую ступень развития, когда доминирующим принципом при реализации компетентностного подхода к обучению становится принцип интерактивности. При этом авторитарная схема отношений между студентом и преподавателем должна уступить место творческому содружеству с учетом имеющегося у каждого студента творческого, интеллектуального и эмоционального потенциала, а «высшим пилотажем» станет переход от модели обучения под руководством преподавателя к самообразованию студентов, где преподавателю отводится роль консультанта, наставника и организатора процесса обучения. Именно в этом видится основной смысл внедрения российских вузов в европейское образовательное пространство.

Фундаментальность системы национального среднего и высшего образования долгие годы служила базой для сохранения передовых позиций в мире в области науки и техники. В общем и целом система образования «работала», яр-

ко и убедительно свидетельствует об этом тот факт, что уходящее поколение преподавателей, получивших образование в этой системе, готовы и, главное, способны работать в инновационной образовательной среде. Основным смыслом перехода к компетентностному подходу в образовании видится в подготовке инновационно-ориентированных кадров, т. е. подготовке специалистов, способных к самообразованию, саморазвитию, креативно мыслящих и действующих.

Формирование инновационно-ориентированных специалистов предполагает, с одной стороны, мониторинг потребностей общества и производства в определенных категориях специалистов и, с другой, четкое представление о том, какими компетенциями должны обладать эти специалисты. В современной отечественной методической литературе практически отсутствуют систематизированные данные по оценочным критериям компетенций. В этом направлении должны быть решены, как минимум две задачи:

- создание банка релевантных компетенций или актуальных качеств определенных категорий специалистов;
- разработка оценочных критериев достижения этих компетенций у студентов на всех этапах обучения в вузе (текущая оценка) и как результат образования (сформированность тех или иных компетенций).

Новый ФГОС дает вузу большую свободу выбора дисциплин для реализации образовательных программ и их содержания, для формирования заданных компетенций, и, таким образом, появляется возможность формирования компетенций, не только регламентированных ФГОСом, но и других, актуальных для конкретного работодателя. Это дополнительные степени свободы в образовательной деятельности вуза.

Отдавая должное более четкой и обоснованной классификации компетенций ФГОСа по сравнению с проектом ФГОСа, где состав компетенций отличался излишней структурированностью, нельзя не отметить полное отсутствие ясности в вопросах оценки сформированности этих общекультурных (п.5.1) и профессиональных (п.5.2) компетенций. Так, если в п.7.3 четко сформулированы основные способы реализации образовательной программы бакалавриата, то п.7.4, который, по сути, регламентирует результат образования, носит чисто декларативный характер. Между тем, преподаватель – непосредственный организатор учебного процесса – должен применять те фонды оценочных средств по сформированности компетенций, которые, согласно п.8.4, должен разрабатывать вуз. И преподаватель, работающий в новых условиях, должен проверять не знания, умения, навыки (это он делать умеет!), а компетенции. И делать это нужно, по видимому, на базе практических работ, деловых игр, решения конкретных производственных задач и др.

К сожалению, текст ФГОСа нового поколения не вносит ясность в вопрос, как оценивать те или иные компетенции, и уж тем более не регламентирует это на законодательном уровне. Рекомендации же специалистов-методистов, проектирующих компетентностно-ориентированные образовательные программы, сводятся к следующему: при подборе средств, оценивающих сформированность компетенций, желательно разбить оцениваемые компетенции на более мелкие

структурные составляющие. По-видимому, это должна быть комбинированная оценка: во всех оценочных технологиях профессиональных компетенций необходимо закладывать параметры оценки социально-личностных характеристик. Можно предположить, что рациональнее оценку личностных характеристик (или хотя бы части из них) возложить на гуманитарные кафедры, но тогда теряется суть всей реформаторской идеи, в соответствии с которой формирование компетенций привязывается к конкретной личности студента с целью помочь ему достигнуть компетентности в выбранной им профессии.

Можно соглашаться и не соглашаться с самой идеей интеграции России в Болонский процесс, спорить о достоинствах фундаментальности нашего российского образования, но применение компетентностного подхода к проектированию основных образовательных программ – процесс, который не остановить. Поэтому приходится признать компетенции как адекватную, актуальную и современную форму оценки результата образования.

УДК 316.472.4:378.147

Т.А. Михайличенко, А.Е. Корочкин, И.А. Синявский
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

МОДУЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Показано, что модульный подход в изложении материала учебных дисциплин позволяет формировать индивидуально-ориентированные образовательные траектории в соответствии с потребностями конкретных работодателей. При этом модульная система хорошо сочетается с рейтинговой формой оценки знаний студентов.

It is shown that the module approach in a statement of a material of studying disciplines allows to form individual oriented schedule of educational process according to requirements of concrete employers. Thus the module system is well combined with the rating form of an estimation of knowledge of students.

К 2011 году практически завершился процесс перехода российских вузов на новые образовательные стандарты, соответствующие двухуровневой системе образования (ФГОСы). Этот ФГОС вносит в педагогический арсенал преподавателя такие новые для России понятия, как компетенции (результат образования), модульно-рейтинговая система оценки знаний студентов (способ обучения и оценки знаний), система кредитных зачетных единиц (способ организации процесса обучения) и др.

В настоящей статье обсуждаются некоторые аспекты модульного обучения студентов в техническом вузе и его взаимодействие с другими новациями образовательных стандартов третьего поколения.

Сама идея модульного подхода заимствована из практики шотландских университетов, которую затем в 1820 году успешно использовал университет в Вирджинии. Модульная система обучения предполагает жесткое структурирование учебного материала. Модуль, как правило, совпадает с темами учебных дисциплин, но, в отличие от темы, в модуле все его составляющие на всех этапах изучения дисциплины подлежат обязательной оценке: задания, работа, посещение, стартовый, промежуточный и итоговый контроль (как правило, тест). В модули прекрасно вписывается рейтинговая система оценки знаний. Но подготовка тестов, которые могут обеспечить объективную оценку знаний студентов, – дело очень трудоемкое и требующее высокой квалификации составителя тестов, поэтому в российских вузах рейтинговый контроль не нашел такого распространения, как на Западе.

Дело в том, что для корректного составления тестов необходимо для каждого модуля задавать уровень обучения, исходя из четырехуровневой модели обучения. А это, в свою очередь, требует значительной исследовательско-подготовительной работы, в том числе с предприятиями-потребителями конечного продукта ВУЗов, т.к. те требования, которые изложены во ФГОС-Сах, достаточно расплывчаты и не конкретны. Как понимать, например, такое «Требование к результатам освоения основных образовательных программ бакалавриата»: «использовать компьютер как средство управления информацией» или «уметь критически осмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности»[1]? Таким образом, зачастую главным критерием при составлении тестов выступает личный опыт преподавателя и его видение проблемы, и это, в свою очередь, должно формировать высокие требования к профессиональной подготовке обучающего. Вместе с тем, требования к профессиональной подготовке обучающего в настоящее время достаточно либеральны.

Модульная система удобна для студентов (по затратам времени и форме), преподавателей (из модульных блоков можно компоновать комплексы для разных курсов) и учебного заведения (возможность обучать большее количество студентов без изменения штата преподавателей и учебно-материальной базы), для общества (каждый может получить высшее образование и имеет возможность продолжить его).

Структура модуля представляется следующей:

– В каждом разделе (тема или ее часть) сформулирована цель и изложена теория с дедуктивным подходом: от терминов и понятий к примерам и практическим действиям.

– Задания – примеры и упражнения, для выполнения которых требуются теоретические знания из соответствующего модуля и конкретные практические действия, зависящие от вида задания.

– Методика оценки знаний студентов (фонды оценочных средств, которые, как это следует из ФГОСа, разрабатывает сам вуз).

– Список рекомендованной литературы.

Исходя из предложенной структуры модуля, учебно-методический комплекс дисциплины (УМК) должен содержать аннотацию, словарь терминов (гlossарий), рабочую программу дисциплины, перечень лабораторных, практических, семинарских занятий, методическое сопровождение по изучению курса (методические пособия и указания к выполнению лабораторных работ, курсовых проектов, комплекты заданий и задач для практических занятий, примерные темы рефератов и др.), информационное сопровождение (презентации по темам (модулям), кинофильмы, слайды, раздаточные материалы и др.), фонды средств для оценки результатов изучения дисциплины (экзаменационные билеты, тесты, контрольные вопросы, вопросы для самопроверки и др. средства оценки текущего и окончательного контроля), список основной и дополнительной литературы. При составлении УМК автор должен руководствоваться, в первую очередь, действующими нормативными документами, регламентирующими данную процедуру [2–6].

При подготовке специалистов-металловедов годами складывались традиции в изложении материала и иерархии дисциплин, основанные на последовательном переходе от общетеоретических знаний о строении и свойствах металлов и сплавов к конкретному приложению этих знаний. Так, общеобразовательными модулями для специалистов-металловедов могут быть «Дефекты кристаллического строения металлов», «Механические свойства металлов и сплавов», «Физические свойства металлов и сплавов», «Металлография», «Теория термической обработки металлов», из которых впоследствии формируются прикладные модули «Технология термической обработки металлов», «Специальные стали и сплавы», «Проектирование термических цехов» и др.

Конкретное содержание этих модулей зависит от потребностей работодателя. При реализации индивидуальных траекторий обучения можно компоновать из модулей необходимый набор знаний. Возможность формирования индивидуальных образовательных траекторий предусмотрена новым ФГОСом.

Следует также отметить, что модульный подход – это сложившаяся западная практика. Но и для российской школы разбивка на модули учебных дисциплин – явление не новое. В некоторых советских вузах, в том числе и в нашем, тогда Сибирском металлургическом институте (СМИ), четверть века назад проходила апробацию система РИТМ (Развитие индивидуального творческого мышления), для которой было характерно модульное построение учебных дисциплин. Эксперименты тогда проводились, главным образом, по математическим дисциплинам, т.к. именно в этом блоке дисциплин наиболее четко можно выявить междисциплинарные связи, в чистом виде возможен входной контроль (на базе школьных математических предметов), а изучаемый материал логически-последовательно разбит на самостоятельные темы

(блоки, модули). Напрашивается вывод, что при хорошо налаженном (на кафедре или у отдельных преподавателей) текущем контроле пройденного материала, квалифицированно разработанном и составленном методическом сопровождении самостоятельной работы студентов эта новация ФГОСа третьего поколения – действующая практика нашего образования. Аналогичный вывод следует и в том случае, если в педагогической практике преподавателя принят рейтинговый контроль оценки знаний студентов, т.к. эта система предполагает обязательное структурирование материала с последующей оценкой всех этапов изучения дисциплины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Минобрнауки России от 16.12.2009 № 734 «Об утверждении и введении в действие Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки 150400 Metallургия (квалификация (степень) «бакалавр»).

2. Письмо Минобрнауки России от 19.05.2000 № 14-52-357ин/13 «О порядке формирования основных образовательных программ высшего учебного заведения на основе государственных образовательных стандартов».

3. Типовое положение об образовательном учреждении высшего профессионального образования (высшем учебном заведении), утвержденное Постановлением Правительства Российской Федерации от 14.02.2008, №71.

4. Приказ Рособрнадзора от 30.09.2005 № 1938 «Об утверждении показателей деятельности и критериев государственной аккредитации высших учебных заведений».

5. Письмо Минобрнауки России от 23.03.2006 № 03-344.

6. Письмо Рособрнадзора от 17.04.2006, № 02-55-77 ин/ак «О новых критериях показателя государственной аккредитации высших учебных заведений».

УДК 377(430)

О.А. Семина, А.П. Семин

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

МОДЕЛЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ МОЛОДЕЖИ К ЗАНЯТОСТИ НА РЫНКЕ ТРУДА

The article deals with organizational-content model of student's training for the employment at the labour market, its purposes, function and conditions of the effective functioning

В статье рассматривается организационно-содержательная модель подготовки обучающихся к занятости на рынке труда, ее цели, функции и условия эффективного функционирования.

Изучение моделей профессиональной подготовки молодежи в России и США может способствовать формированию конкурентоспособной личности при выборе профессии на рынке труда и разработке моделей профессиональной подготовки:

– в России модель профессиональной подготовки обучающихся к работе в пространстве современной системы образования опиралась на теоретические положения, изложенные в работах В.П. Беспалько, Н.М. Борытко, Б.С. Гершунского, Е.А. Крюковой, В.М. Монахова, В.А. Сластенина, В.В. Серикова и др.; модель профессиональной подготовки выпускника вуза, адаптивного к рынку труда (О.Ф. Амарова) [1]; компетентностная модель подготовки будущего специалиста (Э.Ф. Зеер, И.А. Зимняя, А.В. Хуторской и др.) [2,3];

– в США традиционная модель «научного», рационалистического менеджмента профессиональной подготовки (С. Лэмб); модель, основанная на психологическом и человекоцентристском подходе (Д.Вилкинсон); различные варианты неорационалистической системной модели (Д. Роснер), инновационная модель, которая в настоящее время становится ведущей (Л. Снайдер) [4].

Изучение и анализ психолого-педагогических условий профессиональной подготовки в России и США, обобщение отечественного и зарубежного опыта значительного количества образовательных учреждений разного типа и выявление особенности подготовки выпускников к занятости на рынке труда позволили разработать организационно-содержательную модель подготовки выпускников учреждений общего и начального профессионального образования к занятости на рынке труда.

Под *организационно-содержательной моделью* подготовки выпускников учреждений общего и начального профессионального образования к занятости на рынке труда мы понимаем совокупность разностороннего включения обучающейся молодежи в *допрофессиональное* образование – ученики 7-11 клас-

сов и *профессиональное* – обучающиеся профессиональных училищ и дополнительных учреждений, расширяющие знания о личностно-значимых профессиональных качествах, трудоустройстве, успешной занятости на рынке труда на основе практико-ориентированного, аксиологического, иницирующего и компетентностного подходов, способствующих контекстному обучению и успешной профессиональной занятости молодежи.

Модель подготовки выпускников учреждений общего и начального профессионального образования к занятости на рынке труда направлена на совершенствование образовательной среды, которая создает и воспроизводит условия для успешной занятости на рынке труда, способствует переходу системы педагогического содействия из режима функционирования в режим развития [5].

Цель организационно-содержательной модели подготовки выпускников учреждений общего и начального профессионального образования к занятости на рынке труда – развитие личностных и профессиональных качеств, востребованных на рынке труда для успешного выбора будущей профессии посредством их включенности в разные виды профессиональной подготовки.

В соответствии с указанной целью сформулированы задачи, которые решались в ходе подготовки обучающихся к занятости на рынке труда:

–расширять когнитивные способности обучающихся о важности профессионально значимых личностных качеств, востребованных на рынке труда для успешного выбора будущей профессии;

–развивать ценностные установки и мотивы на успешный выбор профессии и занятость на рынке труда;

–воспитывать уважение к труду как социально-значимой деятельности;

–создавать комфортные условия по активной включенности в разные виды профессиональной деятельности и достижения желаемого результата в избранной профессии на рынке труда.

Достижению цели и решению задач организационно-содержательной модели подготовки выпускников учреждений общего и начального профессионального образования к занятости на рынке труда способствует реализация *принципов*:

–преемственности - обеспечивает возможность и необходимость учета при определении содержания профессионального образования на каждой последующей ступени всего, что было изучено ранее, и что будет способствовать усвоению учебного материала для успешной занятости на рынке труда;

–последовательности - способствует упорядоченному усвоению знаний о конкретных профессиях и специальностях в установленный срок, систематизированному освоению совокупности знаний о востребованных профессиях на рынке труда при включенности обучающихся в разные виды профессиональной подготовки;

–целесообразности - предполагает развитие ценностно-смысловой значимости человека и его назначения в профессиональном становлении в усло-

виях конкурентоспособного рынка труда, получение знаний, умений и навыков, обеспечивающих трудоустройство выпускников;

–открытости – один из основополагающих в данной модели, который обеспечивает взаимодействие обучающихся с социальными партнерами и потенциальными работодателями и является гарантом развития профессионально значимых личностных качеств обучающейся молодежи;

–адаптируемости - предполагает оперативное внесение изменений в структуру организационно-содержательной модели и увеличение количества субъектов профессионального образования с учетом внешних условий функционирования и требований рынка труда в регионе;

–перспективности - обеспечивает выпускникам возможность будущего успешного трудоустройства и расширение компетенций в рамках как своей, так и других специальностей;

–прогностичности - предполагает реализацию практико-ориентированной и иницирующей деятельности в разных видах профессиональной подготовки.

Организационно-содержательная модель выполняет следующие *функции*:

Диагностическую – определение когнитивных способностей и социально-профессиональной направленности обучающихся (знаний о профессиях и личностных качествах, выявление самооценки, мотивов, интересов, отношений, установление степени выраженности профессионально важных качеств личности).

Профессионально-образовательную – удовлетворение потребности обучающихся в профессиональной подготовке к занятости на рынке труда.

Адаптационную – развитие профессиональной мобильности, способности к самообразованию, проектирование жизненной траектории, возможности познания себя в профессиональных пробах и моделирование индивидуального стиля профессиональной деятельности.

Прогностическую – выбор профессии с учетом требований рынка труда и социально-одобряемой деятельности, раскрытие творческого потенциала будущего специалиста, формирование установки на профессиональный рост и карьеру, готовность к инновациям.

Стимулирующую - обеспечивает ориентацию обучающихся на развитие профессионально значимых личностных качеств, формирование желания, интереса, внутренней мотивации к активному получению выбранной профессии и успешной занятости на рынке труда.

Аналитико-корректирующую - предполагает постоянный мониторинг результатов подготовки выпускников учреждений общего и начального профессионального образования к занятости на рынке труда в разных видах профессионального обучения.

Все эти функции находятся в тесной интеграции друг с другом и их невозможно представить ни параллельно существующими, ни следующими друг за другом. Вышеперечисленные элементы представлены в организационно-

содержательной модели подготовки выпускников учреждений общего и начального профессионального образования к занятости на рынке труда (рисунок).

Содержание деятельности с обучающимся по подготовке к занятости на рынке труда реализуется в разных видах профессионального обучения: допрофессиональное, профессиональное, дополнительное с применением современных образовательных технологий. Важной составляющей организационно-содержательной модели подготовки выпускников учреждений общего и начального профессионального образования к занятости на рынке труда является содержание, формы и методы, способствующие подготовке занятости обучающихся в урочное и во внеурочное время и представленные в программах элективных курсов.

С учетом развития мотивации, интереса и способностей обучающейся молодежи в организационно-содержательной модели реализуются формы и методы активного профессионального обучения: тренинги, деловые и организационно-деятельностные и деловые игры, проектная деятельность, дискуссии, индивидуальные консультации, анкетирование, интервьюирование, опрос, профессиональные кейсы и др., способствующие расширению знаний о востребованных профессиях на рынке труда и профессионально значимых качествах, присущих той или иной специальности.

Включенности будущих специалистов в приоритетные для их профессионального выбора виды деятельности способствовали *дополнительные образовательные программы*, реализуемые по желанию и с учетом интереса обучающихся в условиях социального партнерства с учетом интереса обучающихся в условиях социального партнерства с учреждениями дополнительного образования, потенциальными работодателями.

Можно сделать вывод, что организационно-содержательная модель, целью которой является развитие профессионально значимых личностных качеств, востребованных на рынке труда, для успешного выбора будущей профессии посредством их включенности в разные виды профессиональной подготовки, будет способствовать подготовке выпускников учреждений общего и начального профессионального образования к занятости на рынке труда, в том случае, если в ней:

- предусмотрено содержание деятельности с обучающимся по подготовке к занятости на рынке труда, реализуемых в разных видах профессионального обучения с применением современных образовательных технологий;

- разработаны и реализуются с учетом возрастного развития обучающихся в учебной и внеурочной деятельности содержание элективных курсов, способствующие развитию личностных и профессиональных качеств будущих специалистов, проявлению знаний, умений, навыков в разных видах деятельности и раскрытию потенциальных возможностей для успешной занятости на рынке труда;



Рисунок 1 – Организационно-педагогическая модель подготовки выпускников к занятости

- разработаны и реализуются с учетом развития мотивации, интереса и способностей обучающейся молодежи формы и методы активного профессионального обучения;
- обеспечивается включенность будущих специалистов в приоритетные для их профессионального выбора виды деятельности в процессе обучения по дополнительным образовательным программам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амарова О.Ф. Модель профессиональной подготовки выпускника вуза, адаптивного к рынку труда / О.Ф. Амарова: Дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08: Калуга, 2002, - 205 с.
2. Зеер Э.Ф. Саморегулируемое учение как психолого-дидактическая технология формирования компетенции у обучаемых / Э.Ф. Зеер // Психологическая наука и образование.- 2004. - N3. - С. 5-11.
3. Зимняя И.А. Общая культура и социально-профессиональная компетентность человека / И.А. Зимняя // Профессиональное образование. - 2006. - N2. - С. 18-21.
4. Зинсер Р. Подготовка профессионально-педагогических работников в США / Р. Зинсер // Профессиональное образование в России и за рубежом. – 2009.- № 1. – С. 86-91
5. Ткаченко Е.В. Базовое профессиональное образование: Проблемы регионализации и развития / Е.В. Ткаченко, А.Т. Глазунов. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. гос. ун-та, 2001. – 253 с.

Е.Г. Оршанская

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

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ МОТИВАЦИИ И ГОТОВНОСТИ СТУДЕНТОВ ВУЗОВ К ОСУЩЕСТВЛЕНИЮ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В статье предложен один из возможных способов повышения уровня мотивации и готовности студентов к выполнению профессиональной деятельности. Дана характеристика уровням мотивации. Обоснована необходимость целенаправленного развития мотивации, отмечается её связь с саморазвитием личности.

One of possible ways of increasing the level of motivation and students' readiness to fulfill professional activity is suggested in the article. The characteristic to the levels of motivation is given. The necessity of purposeful motivation development is substantiated. Its connection with personal self-development is marked.

Мотивационный компонент готовности к профессиональной деятельности с учётом полученных знаний и сформированных умений является стержнем, вокруг которого конструируются основные свойства и качества личности студента вуза как будущего профессионала. Данный компонент выполняет регулятивную функцию, т.к. он направлен на формирование устойчивого стремления обучаемого к совершенствованию своей деятельности, оказывает благоприятное воздействие на личностно-профессиональное развитие студента.

К сожалению, многие выпускники вузов не стремятся работать по полученной специальности. Причины этого явления могут быть экономические, социальные, личностные. Но часто в основе отказа от работы по выбранной профессии находится отсутствие готовности выпускника вуза к осуществлению профессиональной деятельности.

Формирование мотивации является комплексной научной проблемой, изучение которой осуществляется в рамках различных наук. Анализ данных российских и зарубежных учёных позволяет сделать вывод о необходимости целенаправленного развития мотивации и готовности студентов вузов к реализации профессиональной деятельности. Одним из возможных вариантов подобной подготовки представляется включение в контекст занятий мотивационных установок (самонастроев). А.В. Тимофеев, А.А. Ворожбитова предлагают создавать их с использованием ключевых профессионально значимых понятий, включенных в высказывания от «первого лица», что позволяет на-

прямоу воздействию на студентов формулами словесного внушения [2, с. 80]. Применение мотивационных установок обеспечивает основу для усвоения знаний и формирования умений, повышает уровень стремления к улучшению своих результатов, дает возможность осуществлять целенаправленную поддержку и развитие личности, способствует осознанию ответственности, повышению уровня готовности к осуществлению профессиональной деятельности.

Мотивационные установки являются механизмом регуляции собственной деятельности и позволяют создать особый психологический настрой, порождающий веру в то, что сведения, приведенные в установке, являются отражением действительности, поэтому студент начинает вести себя таким образом, что описываемые действия постепенно становятся частью его общения и поведения. Данные установки помогают определять способы достижения профессиональных задач, выбирать профессиональные тактики поведения. Они содержат информационную составляющую (взгляды человека на мир и образ того, к чему он стремится), эмоционально-оценочную (симпатии по отношению к значимым объектам, стилям общения) и поведенческую (готовность действовать по отношению к объекту, демонстрируя одобрительное личностное отношение к нему).

Предлагаемое использование самонастроев даёт возможность повысить стремление студентов к расширению знаний и умений, эффективность и интенсивность образовательного процесса, познавательный интерес к профессионально значимым сведениям и готовность к овладению выбранной профессией.

В качестве примера приведём текст одного из возможных самонастроев, в котором сформулировано начало предложений, а завершить их должен сам студент, и задание к нему.

Дополните текст самонастроая. Как Вы думаете, будет ли эффективной профессиональная деятельность при соблюдении всех перечисленных в самонастроое условий? Объясните свое мнение. Произнесите текст самонастроая таким образом, чтобы и Вы, и все остальные студенты восприняли его как руководство к действию.

Для моего совершенствования как профессионала мне необходимо научиться _____.

Мне следует _____.

Знание теоретических сведений позволит мне _____.

Это поможет мне _____.

Я буду стремиться _____.

Я смогу использовать все возможные ситуации для _____.

Я буду постоянно овладевать _____.

Целенаправленное применение полученных знаний и умений в своей профессиональной деятельности позволит мне подчеркнуть _____.

Овладение позитивно и эмоционально окрашенными сведениями, накопление положительного практического опыта успешного профессионального поведения позволит каждому студенту осознать себя профессиональной лич-

ностью, которая в процессе самосовершенствования закладывает основы своей культуры и профессионализма не только в целях личной успешности, профессионального роста, но и для развития российского производственного потенциала, повышения эффективности выполняемой деятельности.

Целенаправленное формирование мотивации и готовности студентов к профессионально ориентированной деятельности позволяет нацеливать их на профессиональную самореализацию, которая, по мнению С.И. Кучмиевой, обеспечивает развитие следующих стремлений:

- применить полученные знания в работе;
- реализовать себя в работе;
- раскрыть способности применительно к выбранной профессии;
- стремиться к творческому росту;
- заниматься делом, которое нравится и приносит удовольствие;
- принести пользу обществу [1, с. 145-146].

Большое значение имеют факторы, влияющие на развитие мотивации. К ним относятся: желание быть информированным; способность к анализу результатов своей деятельности; наличие профессиональной ответственности; высокий уровень собственных профессиональных интересов и потребностей; стремление к достижениям в профессиональной деятельности.

Существует четыре уровня сформированности мотивации в профессиональной деятельности: начальный, неустойчивый, функциональный, компетентный. Дадим краткую характеристику каждому уровню с точки зрения его достаточности для готовности выпускника вуза к осуществлению профессиональной деятельности.

Для начального уровня характерно выполнение формального объёма работы, ориентация на внешние мотивы и показатели в своей деятельности, отсутствие стремления к повышению квалификации, безразличие к изменениям в своём труде. Для выпускника вуза достижение начального уровня является недостаточным, т.к. он в своей деятельности ориентируется на мнения других, избегает высказывать собственную точку зрения, им движет не желание добиться результативности в своем труде, а получить одобрение собственных действий.

На неустойчивом уровне проявляется ярко выраженное стремление к внешнему самоутверждению, получению сторонней положительной оценки своих действий, демонстрируется противоречие между заявленной целью, привлекательной для окружающих, и выбором средств для её достижения. Сформированность мотивации на данном уровне представляется для выпускника вуза достаточно низкой и не обеспечит ему возможность успешно решать профессионально значимые задачи, т.к. будет осуществляться выборочная предметно-направленная деятельность, ограничивающая самостоятельность суждений и выбор средств для разрешения проблем.

При достижении функционального уровня вся подготовка и учебные действия студента осознанно направлены на реализацию поставленных целей, связанных с овладением выбранной специальностью, расширением представ-

лений о профессиональной деятельности. Выпускник вуза, уровень сформированности мотивации которого можно определить как функциональный, способен реализовать профессиональную деятельность, его интересы и потребности связаны с профессиональным развитием, он осознанно и ответственно относится к результатам своего труда.

Компетентный уровень является высшим уровнем развития мотивации. Он позволяет успешно реализовать все намеченные цели, раскрывать высокий творческий потенциал, осуществлять потребность в приобретении новых знаний, расширять сферу профессионально ориентированных интересов. Достижение данного уровня является наиболее благоприятным для начала профессиональной карьеры, поскольку характеризуется наличием устойчивого желания заниматься определённой деятельностью, осознанием степени ответственности за предлагаемые решения, объективностью восприятия себя другими, позволяет видеть профессиональную перспективу.

Эффективность подготовки студентов к осуществлению профессиональной деятельности предполагает взаимосвязь совместных усилий преподавателя и обучаемых: важным являются не только действия преподавателя, направленные на повышение уровня мотивации, но и саморазвитие мотивации. Саморазвитие мотивации включает личностное самосовершенствование, целенаправленную работу по формированию положительного восприятия профессиональной деятельности, осмысления выбора профессии, развитие творческого потенциала. Таким образом, предлагаемый подход к решению проблемы мотивации позволяет развивать уверенность в своих знаниях, умениях, рассматривать обучение в вузе как подготовительный этап для осуществления в дальнейшем соответствующей профессиональной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучмиева С.И. Мотивационные факторы профессиональной социализации студентов в период обучения в вузе: монография / С.И. Кучмиева / Волгогр. инст-т. бизнеса. – Волгоград: ПринТерра, 2007. – 240 с.
2. Тимофеев А.В. Билингвальная модель профессиональной подготовки будущего учителя иностранного языка: монография / А.В. Тимофеев, А.А. Ворожбитова. – Сочи, 2005. – 127 с.

УДК 621.791

В.М. Шурупов, Н.А. Козырев, В.Ф. Игушев

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

ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СВАРЩИКОВ

На кафедре «Металлургия и технология сварочного производства» разработан тренажер для подготовки сварщиков. Тренажёр позволяет поставить правильные психомоторные навыки при обучении. Использование тренажера для обучения электродуговой сварке позволило: повысить на 30-40% эффективность обучения, уменьшить затраты на полное обучение сварщиков за счет снижения затрат на сварочные электроды на 28 -34%.

The simulator for training of welders was developed in subdepartment «Metallurgy and technology of welding engineering». The simulator allows giving correct psychomotor skills during the training. The use of the electric arc welding simulator has allowed: to increase learning efficiency by 30-40 %, to reduce expenses for full training of welders due to reduction in expenses for welding electrodes by 28-34 %.

В настоящее время до 80 % объёма сварочных работ производится ручной дуговой и механизированной сваркой, причем до 60-70 % брака при производстве сварочных работ данными способами сварки связаны с низкой квалификацией сварщиков. Сварщики, ориентирующиеся на характеристики дуги, не всегда могут обеспечить стабильное качество на протяжении всей смены или в условиях ремонтно-восстановительной наплавки. Учитывая, что наиболее значимым фактором является длина дуги, а постоянное слежение очень быстро приводит к утомлению зрения и снижению эффективности обучения, на первом этапе подготовки сварщиков используются различные тренажёры.

Для обеспечения выработки правильных психомоторных навыков у обучаемого по поддержанию нормативных параметров (длины дугового промежутка, угла наклона сварочного электрода, отклонения от центра разделки кромок свариваемых деталей, скорости сварки) в различных пространственных положениях, повышения эффективности обучения путем контроля нормативных параметров сварки и снижения затрат при обучении на кафедре «Металлургия и технология сварочного производства» используется тренажер (рисунок), состоящий из следующих элементов: 1-экран; 2-лампа; 3-имитатор электрододержателя; 4-наушники; 5-блок приёма сигнала.

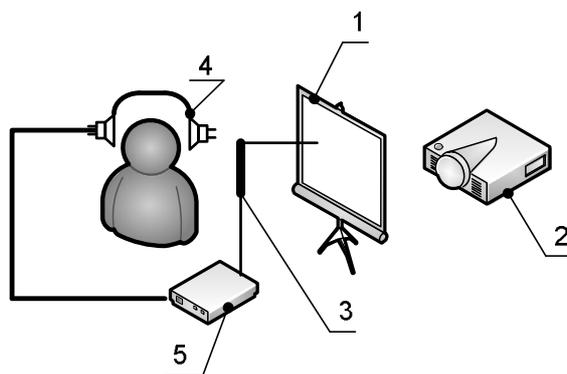


Рисунок – Принципиальная схема тренажёра

Обучение сварщика на тренажере производится следующим образом: на экране нанесены светопроницаемые дорожки, имитирующие траекторию движения руки при различной технике сварки. При нахождении имитатора электрододержателя над светопроницаемой дорожкой свет от источника попадает в фотоприёмник, расположенный на конце модели электрода, при этом звуковой сигнал не подается, что означает правильную технику сварки. При уходе конца модели электрода в сторону от светопроницаемой дорожки на время заданное от 0,5 до 1с подается звуковое сообщение, сигнализирующее об отклонении от заданной траектории, и соответственно о совершенной ошибке. На светонепроницаемом экране нанесены различные светопроницаемые дорожки имитирующих различные глубины проплавления основного металла и формирования шва в зависимости от вида поперечных колебаний электрода. В дальнейшем сварщику предъявляется зрительный образ светопроницаемой дорожки, затем образ траектории девиализируют и сварщик воспроизводит его. Перемещая конец модели электрода вдоль предъявленной ранее траектории вслепую, при этом оценку тренированности сварщика провести по воспроизведению без ошибки траектории. После освоения сварщиком двигательных навыков, происходит их дальнейшее закрепление путём усложнения траектории светопроницаемой дорожки. Тренажёр позволяет закреплять и унифицировать технику манипулирования электродом и поставить правильный угол наклона электрода по отношению к изделию и направлению сварки, что и предопределяет качество формирования сварочного шва.

Навыки, приобретённые после обучения на тренажёре, позволили повысить качество наплавки и сварки при выполнении ремонтных работ на горношахтном оборудовании. Это способствовало снижению расхода дорогих наплавочных материалов и выполнению восстановительных работ с минимальными припусками на последующую механическую обработку, повысило эффективность ремонтных работ.

Использование тренажера для обучения электродуговой сварки позволило: повысить на 30 - 40% эффективность обучения, в связи с одновременным контролем нескольких нормативных параметров сварки; уменьшить затраты на полное обучение сварщиков за счет снижения затрат на сварочные электроды на 28 - 34 %. Практика применения тренажера в группах сварщи-

ков при предварительной подготовке для аттестации сварщиков показала, что после проведения обучения сварщиков в группах без применения тренажёра количество стыков контрольных образцов сварных швов, удовлетворяющих качественным показателям, составляло 45 - 50 %, а при обучении с тренажёром количество образцов сварных швов, удовлетворяющих требованиям качества, составляло 87 - 95%. На тренажер получено положительное решение [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тренажер для обучения электродуговой сварке / Шурупов В.М., Козырев Н.А. – положительное решение РФ, МПК ⁷ G09B19/24 заявка № 2011104516/12(006345), Заявл. 08.02.2011.

ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ И БИОГРАФИИ

ПРОФЕССОР М.Я. МИНЦИС В МЕТАЛЛУРГИИ АЛЮМИНИЯ РОССИИ: К 60-ЛЕТИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ И НАУЧНО- ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ



6 февраля 1952 г. на Сталинский алюминиевый завод по государственному распределению прибыл из Ташкента выпускник энергетического факультета Среднеазиатского политехнического института инженер по электрооборудованию Моисей Яковлевич Минцис, и был направлен на ртутно-преобразовательную подстанцию № 2 цеха преобразовательных подстанций, которая обеспечивала электроснабжение 3 и 4-го корпусов электролиза. Так начинался производственный путь М.Я. Минциса в отечественной алюминиевой промышленности, как оказавшийся, длиной в 43 года.

Хорошая профессиональная подготовка и быстро накапливающийся производственный опыт, энергичный, творческий подход к решаемым задачам позволили М.Я. Минцису – в то время единственному инженеру по электрооборудованию – быстро освоиться и разобраться в сложных вопросах энергоснабжения электролизного производства и фактически стать ведущим специалистом в этом направлении. Уже через год М.Я. Минцис курирует строительство новой преобразовательной подстанции № 3, предназначенной для возводимых 5 и 6 корпусов электролиза, затем возглавляет электротехническую лабораторию, вскоре под его руководством переросшую в цех контрольно-измерительных приборов и автоматизации.

В начале 1961 года М.Я. Минцису было поручено создать и возглавить экспериментально-производственный цех завода в составе трех отделений: технологического, механизации процессов и автоматизации. Пришлось осваивать тонкости технологии электролиза, литейного производства, механизации и создания новых механизмов и многоагрегатных линий. В этот период шло строительство и освоение новых корпусов электролиза на второй площадке завода. Поэтому специалистам цеха приходилось решать массу новых проблем. Так, были внедрены пылеуборочные машины в корпусах электролиза, в литейном производстве механизированы и автоматизированы линии по обработке слитков и чушек, в центральной заводской лаборатории механизированы процессы спектрографирования образцов алюминия, созданы механизмы по демонтажу подин электролизеров в процессе капитального ремонта, используемые и в настоящее время. Выполнен комплекс работ по монтажу и

совершенствованию систем автоматического регулирования процессом электролиза (КУА-670, «Алюминий-1», «Алюминий-3»). В результате этих работ Новокузнецкий алюминиевый завод стал первым в отрасли предприятием, полностью оснащенным системами автоматического регулирования. Результаты работ, выполненных экспериментально-производственным цехом под руководством М.Я. Минциса в период с 1961 по 1973 гг., представлены в трех производственных сборниках «Работы экспериментального цеха Новокузнецкого алюминиевого завода».

В это время под руководством М.Я. Минциса формировались такие будущие крупные специалисты алюминиевой промышленности как В.А. Железнов, Г.А. Сиразутдинов, В.Н. Пнев, В.А. Дегтярь, И.М. Кравцов, М.С. Колесов и др. Новокузнецкий алюминиевый завод становится кузницей кадров не только для развивающейся алюминиевой промышленности Сибири. Многие специалисты завода (В.К. Марков, Г.А. Сиразутдинов, Ю.Д. Журавин, Н.А. Найденов и другие) принимали участие в строительстве алюминиевых заводов за рубежом – в Египте, Турции, Северной Корее и др. странах.

В период с 1970 по 1973 гг. производственную деятельность М.Я. Минцис совмещает с обучением в заочной аспирантуре при Всероссийском алюминиево-магниево-институте, выполняет диссертационное исследование на тему «Исследование серии алюминиевых электролизеров как объекта контроля и управления» и в 1973 г. успешно защищает диссертацию. Ему присуждается ученая степень кандидата технических наук по специальности «Металлургия цветных, благородных и редких металлов».

В 1973 г. М.Я. Минцис назначается начальником цеха производства анодной массы (ЦАМ-1). Цех, построенный в первые послевоенные годы, был оснащен устаревшим, частично трофейным оборудованием, а его здание состояло практически из пристроек различного размера и формы. За сравнительно короткий срок были полностью реконструированы вентиляция и пылеборка, заменена часть технологического оборудования, полностью изменена технология пекоподготовки. Помимо совершенствования оборудования, была разработана рецептура и впервые в отечественной промышленности изготовлена холодно-набивная подовая масса, применение которой значительно упростило технологию капитального ремонта электролизеров и повысило межремонтный срок службы катодных устройств электролизеров. Это была настоящая революция в процессе капитального ремонта электролизеров.

С момента ввода в эксплуатацию ЦАМ-1 выпускал анодную массу в виде брикетов массой около 16 кг. Эти брикеты грузились в железнодорожные вагоны местного парка и подавались к торцам корпусов электролиза, а их разгрузкой занималась специальная бригада. Условия труда были тяжелейшие: вручную приходилось за смену выгружать до 25-30 т брикетов, выделяющих смолистые вещества, что было особенно нелегко в летнее время. Для улучшения условий труда была разработана система механизмов, которая формовала анодную массу в брикеты массой 0,2 кг и загружала в передвижные бункеры, подаваемые тракторами в корпуса электролиза. Таким образом,

был полностью ликвидирован ручной труд на этой операции и сохранено здоровье персоналу. За эту работу группе сотрудников завода во главе с М.Я. Минцисом было присвоено звание «Лауреат премии Кузбасса».

В 1976 г. за комплекс работ по совершенствованию производства М.Я. Минцис был награжден орденом Трудового Красного знамени, а в 1989 г. ему было присвоено звание «Заслуженный рационализатор РСФСР». С участием М.Я. Минциса создано 39 изобретений, значительная часть которых внедрена в производство.

Начиная с 1978 г. М.Я. Минцис работает главным технологом, а затем начальником технического отдела завода. В это время М.Я. Минцис курирует внедрение новой техники, проведение исследовательских работ, взаимодействие с научно-исследовательскими подразделениями и институтами. В этот период было модернизировано и усовершенствовано оборудование литейных отделений, внедрен комплекс машин и механизмов в корпусах электролиза, укреплен научно-техническая библиотека завода, усилена работа по повышению квалификации ИТР, создан вычислительный центр. На этом посту М.Я. Минцис проработал до 1992 г.

В период с 1992 по 1995 гг., в новых условиях реформирования металлургии и экономики России в целом, опыт и профессиональные знания М.Я. Минциса оказались востребованными в дирекции завода, где он работает в качестве технического советника.

В 1995 г. по предложению Сибирского государственного индустриального университета М.Я. Минцис переходит на преподавательскую работу на кафедру металлургии цветных металлов, с которой сотрудничал в течение длительного времени в качестве председателя государственной аттестационной комиссии. С этого года и по настоящее время М.Я. Минцис ведет преподавательскую работу, осуществляя подготовку специалистов для отечественной металлургии алюминия. На высоком профессиональном и научно-технологическом уровне им читаются курсы «Металлургия алюминия», «Современное состояние мирового и отечественного производства алюминия», «Металлургия вторичного алюминия», осуществляется руководство курсовым и дипломным проектированием студентов специальности «Металлургия цветных металлов». Выполненные под его руководством дипломные проекты и работы неоднократно удостоивались дипломов Всероссийского конкурса выпускных квалификационных работ по металлургии Министерства образования и науки РФ. Значительное внимание М.Я. Минцис уделяет созданию современных учебно-информационных ресурсов. Так, при его участии подготовлено и издано 15 учебных пособий, получивших высокую оценку Министерства образования и науки, Учебно-методического объединения вузов России по образованию в области металлургии, вузовской общественности и производственных специалистов. Особенно востребованными оказались такие издания как «Металлургия алюминия. Технология. Электроснабжение. Автоматизация» (2008 г.), «Электролизеры с анодом Содерберга и их модернизация» (2009 г.), «Экология и утилизация отходов в производстве алюми-

ния» (2005 г.), «Производство алюминиевых сплавов» (2006 г.), «Современные методы анализа и контроля в металлургии алюминия (в 3-х томах)» (2006 г.), «Металлургия алюминия. Справочник по технологии и оборудованию» (2009 г.), «Металлургия алюминия. Справочник по технологическим и конструктивным измерениям и расчетам» (2010 г.). Трижды комплекты учебных пособий по металлургии алюминия, подготовленные при участии М.Я. Минциса, признаны лучшими на конкурсе Администрации Кемеровской области «Лучший учебник (учебное пособие)». Вместе с коллегами профессором М.Я. Минцисом опубликовано 189 научно-технических и учебно-методических работ, в т.ч. 4 научно-производственных издания, 2 справочника, 15 учебных пособий, получено 39 свидетельств и патентов на изобретения.

В 1993 году М.Я. Минцису присвоено ученое звание доцента, в 1996 году – профессора. В 2002 году он награжден медалью «За особый вклад в развитие Кузбасса» 3 степени; в 2003 г. - нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования РФ», а в 2008 г. – медалью «За служение Кузбассу».

Коллеги и ученики поздравляют профессора Моисея Яковлевича Минциса со своеобразным юбилеем – 60-летием служения отечественной металлургии алюминия, желают здоровья, благополучия, творческих удач и талантливых студентов.

*Кафедра металлургии цветных металлов и химической технологии
Сибирского государственного индустриального университета*

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Сборник научных трудов «Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии» подготавливается к печати Сибирским государственным индустриальным университетом совместно с отделением металлургии горно-металлургической секции РАЕН.

В сборник могут быть представлены работы по направлениям:

- металлургия черных и цветных металлов и сплавов;
- порошковая металлургия, композиционные материалы и покрытия;
- физика металлов и металловедение;
- экономика, управление и экология на предприятиях;
- проблемы высшего образования;
- отклики, рецензии и биографии.

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 250×170 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 транскрипция, 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 подписанные 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.

Сборник научных трудов реферируется в РЖ «Металлургия», зарегистрирован в Международном центре «Международной стандартной нумерации сериальных изданий (International standard serial numbering – ISSN)», ему присвоен ISSN 2073–2848. Дополнительная информация о сборнике научных трудов представлена на сайте СибГИУ <http://www.sibsiu.ru> в разделе «Издательская деятельность».

Срок представления материалов для следующего выпуска «Вестника горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии» – до 20 сентября 2012 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

Компьютерный набор Темлянцев Е.Н.

Подписано в печать 10.02.2012 г.

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 11,6 Уч.-изд.л. 12,4 Тираж 300 экз. Заказ № 92

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр СибГИУ