

Министерство образования и науки Российской Федерации

Департамент образования и науки Кемеровской области

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
**«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ЗАО «Кузбасская ярмарка»

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, УПРАВЛЕНИЕ,
ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**

*Труды Всероссийской научно-практической конференции
9 – 11 ноября*

Новокузнецк
2012

УДК 669(06)+658.012.056(06)

Металлургия: технологии, управление, инновации, качество: сб. трудов Всероссийской научно-практической конференции / под ред. Е.В. Протопопова; Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2012. – 147 с., ил. ISBN 5-7806-0245-5.

В сборнике отражены результаты научных исследований и практический опыт создания новых материалов и технологий термической обработки металла, разработок по внедрению новых технологий в сварочном производстве, совершенствования действующих агрегатов, автоматизации управления металлургическими ресурсами, повышения качества продукции, экономической эффективности и конкурентоспособности действующих предприятий, управления персоналом.

Сборник ориентирован на инженеров предприятий, научных работников, преподавателей вузов, аспирантов и студентов.

Под общей редакцией профессора Е.В. Протопопова

Редакционная коллегия:

д.т.н., профессор О.И. Нохрина,

к.т.н., профессор С.Г. Рудаков,

к.т.н., доцент А.А. Уманский

ISBN 5-7806-0245-5

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Сибирский государственный
индустриальный университет»,
2012

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 628.544

ПЕРЕРАБОТКА ЦИНКСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ ХИМИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Ноздрин И.В., БЕХТЕРЕВА М.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

В настоящее время использование нетрадиционных видов сырья (шлаки, шламы, пыли газоочисток и др.) для получения металлического цинка и его соединений в нашей стране вызывает повышенный интерес. Относительный застой в области разработки процессов вовлечения отходов производства в технологический оборот в 90-х годах прошлого века сменился активным внедрением переработки таких материалов в настоящее время. Это вызвано, в первую очередь, ростом стоимости цинковых концентратов. Кроме того, ужесточение природоохранных требований приводит к необходимости утилизации накопленных отходов в виду их вредного влияния на окружающую среду.

В работе обобщены сведения о видах, количестве и химическом составе цинксодержащих шламов от очистки сточных вод и отработанных технологических растворов отечественных предприятий по производству искусственных волокон. Количество подобных накопленных материалов оценивается около 200 тыс. тонн по цинку. Такое количество сопоставимо с годовыми программами крупнейших цинковых заводов. На примере разработок процессов утилизации отходов и опыта применения данных технологий на предприятиях Сибирского федерального округа (ООО «Сибволокно», ООО «Красноярские волокна» и др.) показана их технологическая и экономическая эффективность.

Анализ химического и фазового состава шламов различных предприятий показывает, что цинк в них представлен карбонатами, сульфатами и сульфидами. Основными балластными примесями являются оксиды кальция и кремния. Наблюдается большой разброс данных по химическому составу шламов даже в пределах одного предприятия, что определено как изменениями параметров технологических режимов предприятий, так и условиями складирования и хранения отходов. Общее содержание цинка в рассматриваемых материалах варьируется в пределах 11 – 31 %, окиси кальция – 4 – 16 %, окиси кремния – 4 – 8 %. Подтверждено наличие сульфидной серы в образцах шламов, достигающих в некоторых случаях 2 %.

Опыт переработки шламов по технологии, используемой на действующих цинковых заводах, подтверждает эффективность применения для

этих целей процесса вельцевания. Экономически эффективное содержание цинка в шламах, при этом, должно превышать 14 %. Прямое выщелачивание отработанным электролитом показало низкое извлечение цинка, сопровождаемое расстройством штатного технологического процесса. Основным фактором, сдерживающим использование стандартной технологии, является высокая стоимость транспортировки рассматриваемых материалов, связанная с удаленностью предприятий от действующих цинковых заводов. Этот факт вызывает необходимость разработки мобильных технологий переработки шламов на месте.

Учитывая особенности рассматриваемых материалов все предлагаемые технологии позволяют получать цинк в виде оксида или сульфата, имеющих широкое применение. Такие процессы представляют собой, в той или иной степени, аналог вельцпроцесса при получении технического оксида цинка, который дополняется рядом гидрометаллургических переделов при получении сульфата или высококачественного оксида. Особенностью предлагаемых технологий является необходимость включения обязательной стадии двух- или трехстадийной сушки шламов, что обусловлено их высокой влагоудерживающей способностью. После естественной сушки на воздухе влажность шламов составляет 30-40 %, что вызывает необходимость дополнительной высокотемпературной сушки и прокалики.

Оценка экономической эффективности, предлагаемых разработчиками технологий утилизации цинксодержащих шламов на примере работ, проводимых на базе ООО «Сибволокно» показывает их высокую рентабельность. При стоимости котировок на металлический цинк на Лондонской бирже металлов 2000 \$/т рентабельность оценивается в 25 – 45 % в зависимости от вида конечного продукта.

Следует отметить, что дополнительным бонусом проводимых работ является снижение негативной экологической нагрузки от воздействия накопленных шламов на окружающую среду.

УДК 621.746.14 (043)

СОЗДАНИЕ НАПРАВЛЕННОГО ЗАТВЕРДЕВАНИЯ СТАЛЬНОГО СЛИТКА В ПРОЦЕССЕ РАЗЛИВКИ

АНТОНОВ В.П.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Процесс разлива и формирование стального слитка сопровождаются одновременным протеканием гидродинамических, теплофизических, химических и других процессов. На качество стальных слитков оказывают влияние температура и скорость разлива, химический состав стали, ее усадка и пластические свойства, форма и размер слитка, условия распределения тур-

булентных потоков жидкой стали и температурных полей внутри кристаллизующегося слитка, характер протекания процессов ликвации и выделения неметаллических включений и ряд других процессов.

На основании литературных данных составлена таблица 1, показывающая виды дефектов поверхности и макроструктуры слитка и причины, вызывающие эти дефекты. Из таблицы 1 видно, что одной из главных причин неудовлетворительного качества поверхности и макроструктуры слитка является высокая кинетическая энергия струи, вызывающая циркуляцию металла в изложнице, размыв поддонов и изложниц, образование брызг металла на ее стенках. Циркуляция металла и конвективные потоки усиливают ликвацию, препятствуют направленному затвердеванию слитка.

Таблица 1 – Виды брака слитка и причины их образования

№ п/п	Причины брака	Дефекты поверхности				Дефекты макроструктуры						Разгар нижней части изложницы	Повы- шенный расход металла на прибыль
		На- руж ные тре- щи- ны	Воло- сови- ны	Пле- ны	По- рис- тос- ть	Под- корко- вые пузы- ри	Неме- талли- чesk. вклю- чения	Горя- чие тре- щины	Холод- ные тре- щины	Лик- ва- ция	Кор- ки		
1.	Циркуляция металла в изложнице	+			+		+	+	+	+	+	+	+
2.	Большая кинетическая энергия падающей струи	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3.	Большой градиент температуры по сечению слитка	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4.	Малый температурный градиент по высоте слитка				+		+	+	+	+		+	+
5.	Неорганизованная струя	+	+	+			+						
6.	Окисление металла в процессе разлива		+	+	+	+	+	+	+	+			
7.	Повышенное содержание водорода				+	+	+	+	+	+			
8.	Размыв футеровки ковша и другого разливочного оборудования							+	+				
9.	Сетка разгара изложницы	+	+			+			+			+	
10.	Жирная смазка		+			+							
11.	Сопротивление усадке в результате приваривания к днищу и затекания металла в неплотности соединения надставки с изложницей	+										+	

На рисунке 1 показаны пять схем разлива стали. Схем «а» – разливка из ковша. Схема «б» – разливка через промежуточное устройство (ПУ) с одноканальным стопорным стаканом. Такая разливка применяется на многих металлургических заводах, на установках непрерывной разлива, и во многих литейных цехах при производстве кузнечных слитков. При таком способе разлива кинетическая энергия струи уменьшается в 4 – 7,5 раза. При этом значительно улучшается поверхность слитка [1].

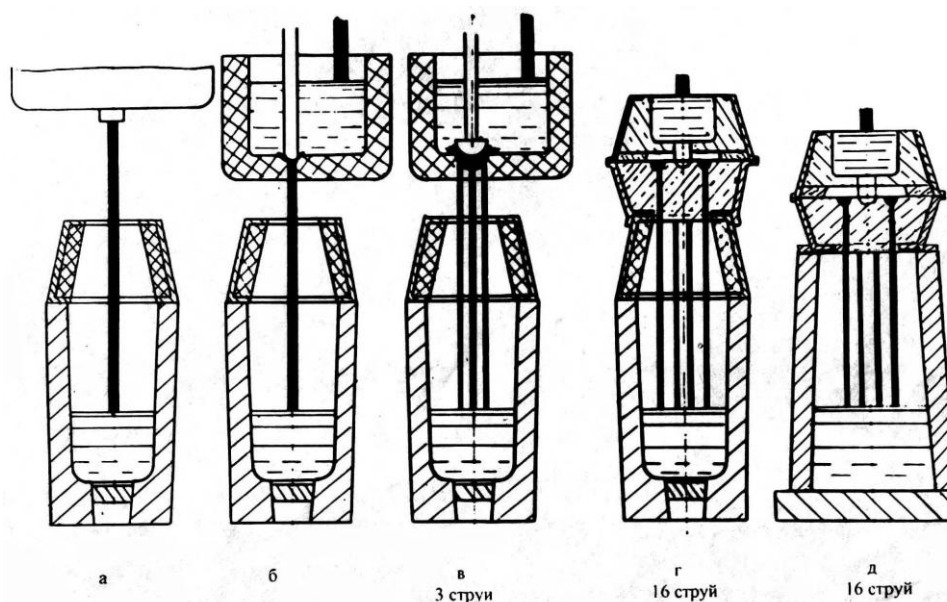


Рисунок 1 – Схемы разливки стали

При разливке по схеме «в» в высокопроизводительных сталеплавильных цехах кинетическая энергия струи уменьшается в 15 – 20 раз [1].

При использовании ПУ с литниковой системой, распределяющий металл на несколько струй, можно еще в большей степени уменьшить кинетическую энергию струи. Испытанное на КМК бесстопорное ПУ показано на схеме «г» и «д». В нем металл, делая шесть поворотов на 90° , распределяется на 16 струй диаметром 30 мм. При этом кинетическая энергия струи уменьшается в 500 раз по сравнению с энергией струи из ковша емкостью 250 т при стопорном стакане 55 мм. При разливке через данное ПУ восьмитонных слитков рельсовой стали получено значительное улучшение макроструктуры и поверхности слитка при снижении на 30 % величины головной обрезки [2].

С целью определения глубины проникновения струи металла в изложницу при разливке непосредственно из ковша и через ПУ было произведено гидродинамическое моделирование. При моделировании процесса течения металла на воде для получения подобных результатов при линейном масштабе, равном единице, достаточно соблюдение кинематического и гидродинамического процессов разливки [3]. Для этого была спроектирована и изготовлена установка, включающая в себя модель разливочного ковша, стопорные стаканы, стопор, ПУ с литниковой системой, модель изложницы в натуральную величину из оргстекла с размерами $720 \times 630 \times 2400$ мм. Схема установки изображена на рисунке 2.

На рисунке 3 представлены фотографии процесса наполнения изложницы водой через стакан диаметром 55 мм и через ПУ с литниковой системой по схеме «г» и «д» при давлении в модели ковша, соответствующему уровню воды в пять метров, что соответствует разливке из 250-тонного сталеразливочного ковша.

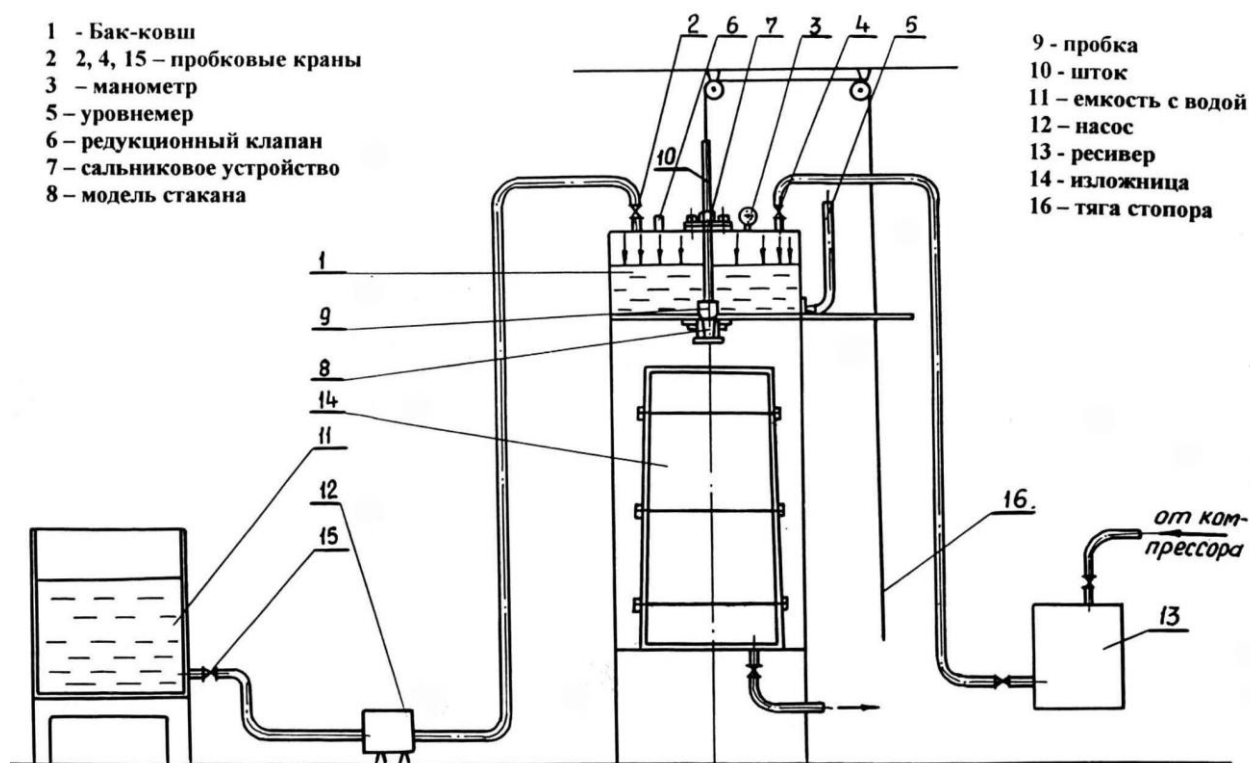


Рисунок 2 – Схема установки для гидродинамического моделирования процесса заполнения изложницы

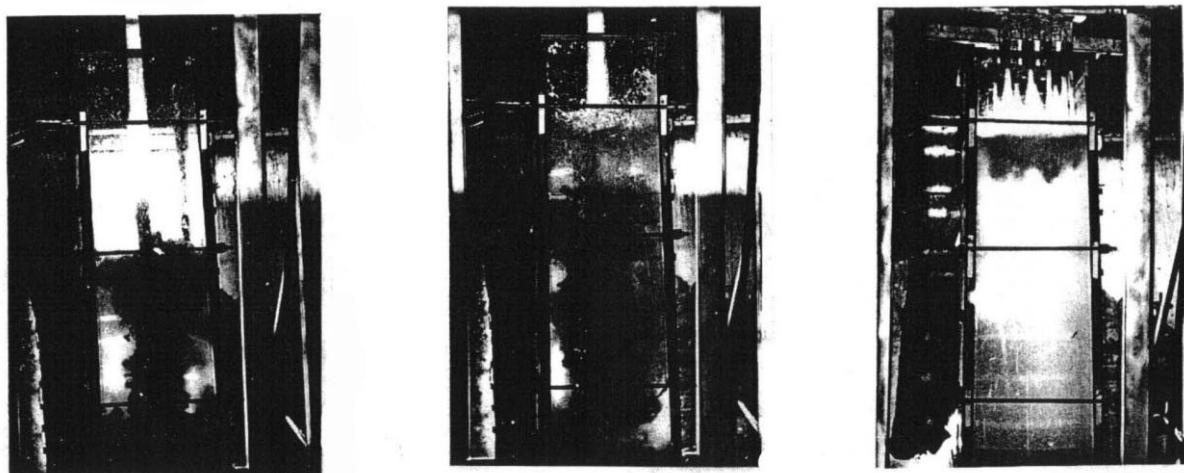
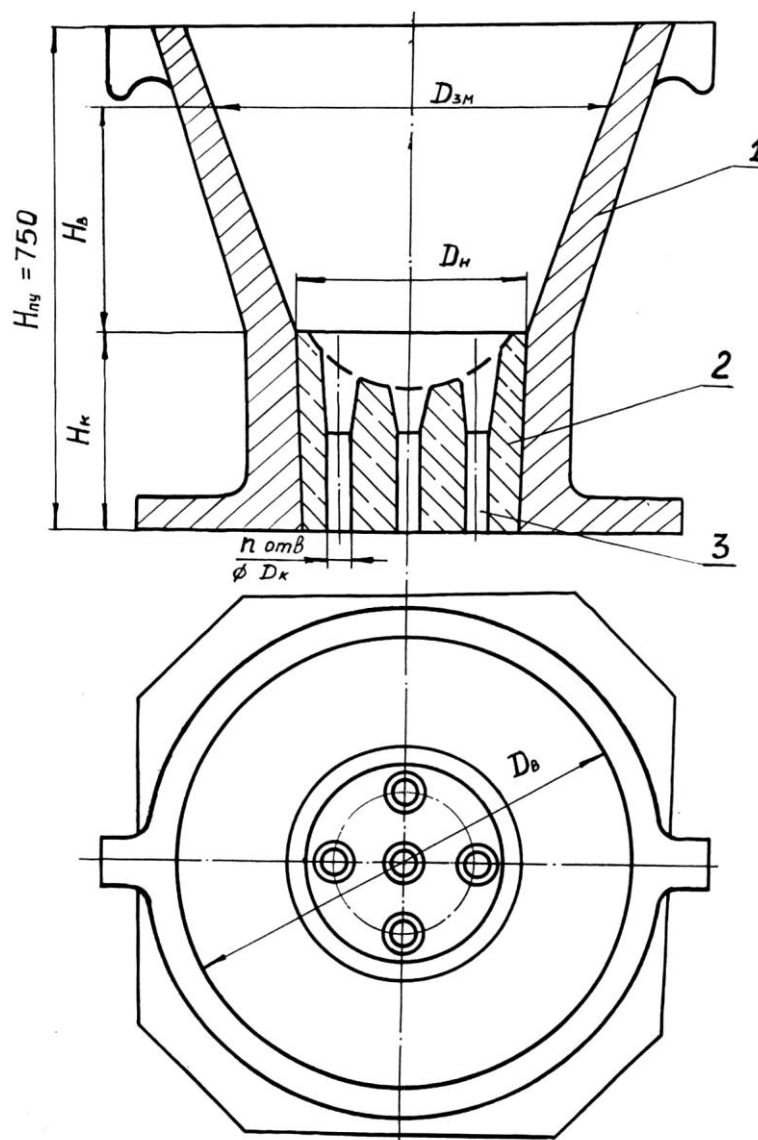


Рисунок 3 – Моделирование процесса наполнения изложницы при разных режимах

Применение ПУ с литниковой системой примерно в 10 раз уменьшает глубину проникновения струи металла в изложницу. Глубина проникновения струй практически не зависит от уровня металла в ковше и составляет примерно 250 мм, т.е. около 12 % глубины изложницы. При проведении экспериментов по разливке было испытано несколько конструкций ПУ и наиболее технологичным было признано ПУ, представленное на рисунке 4.



1 – чугунная воронка; 2 – шамотный стакан; 3 – литниковые каналы

Рисунок 4 – Схема промустройства

Разработанная нами методика расчета условий заливки, обеспечивающих охлаждение стали до температуры нулевой жидкотекучести при заполнении нижней части слитка, позволяет определить охлаждающую поверхность самого ПУ и его литниковых каналов их число n и диаметр D_k [4].

При заданных параметрах ПУ можно рассчитать величину охлаждения металла в ПУ и струях на воздухе, обеспечивающую поступление стали с заданным относительным количеством твердой фазы ε на дно изложницы в начальный момент ее заполнения. Эту величину охлаждения можно регулировать изменением диаметра струи D_k и их количества n при заданном количестве твердой фазы, не превышающем нулевую жидкотекучесть при ε_0 , для заливаемой марки углеродистой стали.

Предложена программа расчета на ЭВМ условий разливки через ПУ с литниковой системой [5], обеспечивающих создание температурного гради-

ента по высоте слитка к моменту окончания заполнения изложницы, с учетом нагрева чугунной воронки ПУ и охлаждения стали в струях на воздухе в процессе разливки.

Результаты расчета температуры стали по высоте слитка в процессе заполнения изложницы с интервалом 15 с, представлены распечаткой программы (рисунок 5).

```

T1o=1506.0  T1_fo=120.2  E1=0.0000
T2o=1501.9  T2_fo=111.0  E2=0.0000
T3o=1460.3  T3_fo=50.0   E3=0.1574      Tay=1      H=1.1
*****
T1o=1517.8  T1_fo=645.9  E1=0.0000
T2o=1515.6  T2_fo=744.3  E2=0.0000
T3o=1464.2  T3_fo=50.0   E3=0.1063      Tay=15     H=16.7
*****
T1o=1522.1  T1_fo=834.4  E1=0.0000
T2o=1520.9  T2_fo=1112.7 E2=0.0000
T3o=1466.6  T3_fo=50.0   E3=0.0748      Tay=30     H=33.3
*****
T1o=1523.5  T1_fo=898.1  E1=0.0000
T2o=1522.9  T2_fo=1307.4 E2=0.0000
T3o=1468.4  T3_fo=50.0   E3=0.0514      Tay=45     H=50.0
*****
T1o=1524.0  T1_fo=919.6  E1=0.0000
T2o=1523.7  T2_fo=1410.1 E2=0.0000
T3o=1470.0  T3_fo=50.0   E3=0.0310      Tay=60     H=66.7
*****
T1o=1524.2  T1_fo=926.9  E1=0.0000
T2o=1524.0  T2_fo=1464.2 E2=0.0000
T3o=1471.5  T3_fo=50.0   E3=0.0117      Tay=75     H=83.3
*****
T1o=1524.2  T1_fo=929.3  E1=0.0000
T2o=1524.1  T2_fo=1492.7 E2=0.0000
T3o=1475.2  T3_fo=50.0   E3=0.0000      Tay=90     H=100.0
*****
T1o=1524.2  T1_fo=930.2  E1=0.0000
T2o=1524.2  T2_fo=1507.7 E2=0.0000
T3o=1482.4  T3_fo=50.0   E3=0.0000      Tay=105    H=116.7
*****
T1o=1524.2  T1_fo=930.4  E1=0.0000
T2o=1524.2  T2_fo=1515.5 E2=0.0000
T3o=1489.7  T3_fo=50.0   E3=0.0000      Tay=120    H=133.3
*****
T1o=1524.2  T1_fo=930.5  E1=0.0000
T2o=1524.2  T2_fo=1519.7 E2=0.0000
T3o=1497.1  T3_fo=50.0   E3=0.0000      Tay=135    H=150.0
*****
T1o=1524.2  T1_fo=930.6  E1=0.0000
T2o=1524.2  T2_fo=1521.8 E2=0.0000
T3o=1504.5  T3_fo=50.0   E3=0.0000      Tay=150    H=166.7
*****
T1o=1524.2  T1_fo=930.6  E1=0.0000
T2o=1524.2  T2_fo=1523.0 E2=0.0000
T3o=1512.1  T3_fo=50.0   E3=0.0000      Tay=165    H=183.3
*****
T1o=1524.2  T1_fo=930.6  E1=0.0000
T2o=1524.2  T2_fo=1523.6 E2=0.0000
T3o=1519.6  T3_fo=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

```

Рисунок 5 – Распечатка расчета на ЭВМ

В распечатке программы:

$T1_0$ – температура металла при выходе из воронки и входе в литниковые каналы, которая в процессе прогрева чугунной воронки увеличивается с 1506°C до $1524,2^{\circ}\text{C}$ при температуре разливки 1560°C ;

$T2_0$ – температура стали на выходе из промустройства;

$T3_0$ – температура стали в струе при контакте с зеркалом металла в изложнице на уровне $H(\text{см})$ в момент времени $T_{\text{ау}}(\text{с})$;

$T1_{f_0}$ – температура охлаждающей поверхности чугунной воронки, в процессе разливки увеличивается от $120,2^{\circ}\text{C}$ в первый момент разливки до $930,6^{\circ}\text{C}$ в окончание заполнения изложницы;

$T2_{f_0}$ – температура литниковых каналов, изменяется в процессе разливки в интервале от 111°C до $1523,8^{\circ}\text{C}$;

$T3_{f_0}$ – начальная температура чугунной воронки равная 50°C ;

E_1, E_2, E_3 – относительное количество твердой фазы ε , образующейся в воронке, в литниковых каналах, в изложнице соответственно.

Представленная распечатка результатов расчета дает наглядную картину распределения температуры по высоте восьмитонного слитка рельсовой стали, 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 в нижнюю часть изложницы в начальный момент разливки, которое не должно превышать ε_0 во избежание спаев в нижней части слитка. Как видно из распечатки программы, в нижнюю часть изложницы на высоте $H = 1,1$ см сталь поступает с содержанием в струях $\varepsilon = 0,15$, т.е. с 15 % твердой фазы, на высоте изложницы $H = 83,3$ см с $\varepsilon = 0,01$, т.е. с 1 % твердой фазы. Выше изложница заполняется с температурой выше температуры ликвидуса, равной для рельсовой стали $T_{\text{л}} = 1472^{\circ}\text{C}$.

Последние порции стали, поступающие в изложницу, имеют температуру $1524,2^{\circ}\text{C}$, т.е. больше одного метра двухметровой изложницы заполняется с перегревом над ликвидусом. А учитывая, что струи «прошивают» толщу металла не более чем на 250 мм, в изложнице создается направленное затвердевание снизу вверх уже в процессе разливки.

На КМК были подготовлены две одинакового размера изложницы типа Р-43, на которые установили мерные утеплители типа П-1. Контрольный слиток заливался рельсовой сталью М76 через стакан диаметром 55 мм на составе шестым по счету за три минуты по обычной технологии. Опытный слиток заливался через ПУ пятым по счету за то же время, т. е. за три минуты. Разница в весе опытного и контрольного слитков составила 201,17 кг. Головная обрезь опытного слитка составила 15 % вместо 18 % при обычном способе разливки. Эту разницу в весе опытного и контрольного слитков можно объяснить только тем, что условия охлаждения жидкого металла в процессе разливки были не одинаковы. При разливке через ПУ в начальный

момент была снята усадка в жидком состоянии и частично при затвердевании, что позволило залить в, равную с контрольной, изложницу большее количество металла.

Промышленные эксперименты проводились в сталелитейном цехе Иркутского завода тяжелого машиностроения (ИЗТМ). Технология разливки двухтонных кузнечных слитков через ПУ была внедрена и позволила увеличить выход годного металла на 4 %.

Библиографический список

1. Разливка стали в изложницы и качество слитка. Тематический сборник научных трудов. Институт черной металлургии: – М., Металлургия, 1989.
2. Климов В.Я. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук г. Новокузнецк, 1973.
3. Рабинович Б.В. Введение в литейную гидравлику. – М.: Машиностроение, 1966. – 423 с.
4. Таран Н.И., Антонов В.П., Климов В.Я., Швидков Н.И. Методика расчета индивидуального промустройства при разливке рельсовой стали. – Международная научно-практическая конференция. Металлургия России на рубеже XXI века. Сб. научных трудов том I. Новокузнецк, 2005. – С. 189 – 197.
5. Свидетельство РФ о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2012615034. PR_SL.1.0. / В.П. Антонов, А.А. Усольцев, В.Я. Климов, Н.И. Швидков //Заявка № 2012612812 от 13.04.2012 г. Оpubл. 06.06.2012 г.

УДК 621.785:669.1.08.29

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ, ФАЗОВОГО СОСТАВА И СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО НАПЫЛЕНИЯ¹

РОМАНОВ Д.А., БУДОВСКИХ Е.А., ГРОМОВ В.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

Одной из приоритетных задач физики конденсированного состояния и физического материаловедения является разработка физических основ повышения эксплуатационных характеристик различных материалов. Особенности структуры и свойств упрочняющих и защитных покрытий отражают особенности методов, используемых для их напыления. В последние годы получили развитие импульсные методы напыления покрытий, в частности,

¹ Исследования выполнены в соответствии с Федеральной целевой программой «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. по гос. контракту № 14.740.11.1154 и госзадания Минобрнауки № 2.4807.2011.

из несмешивающихся компонентов, которые позволяют формировать покрытия, обладающие низкой пористостью, высокой адгезией с основой, нано- и субмикрористаллической структурой. Так, с использованием установки «Плазменный фокус» получены покрытия системы W-Cu [1, 2]. Однако они имеют малую толщину и нерегулируемый состав. В связи с этим, целью настоящей работы явилось формирование электроэрозионностойких покрытий, прежде всего из несмешивающихся компонентов, импульсным методом электровзрывного напыления (ЭВН), изучение их структуры, фазового состава и свойств.

Напыление покрытий проводили с использованием электровзрывной установки ЭВУ 60/10М, которая описана в работе [3, 4]. Она включает емкостный накопитель энергии и импульсный плазменный ускоритель, состоящий из коаксиально-торцевой системы электродов с размещенным 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 металлическую фольгу тока большой плотности при разряде на нее накопителя [5]. Из продуктов взрыва формируется сверхзвуковая многофазная плазменная струя, которая служит для напыления покрытий при времени импульса 100 мкс. Подробности методики ЭВН покрытий изложены в [3].

Были получены электроэрозионностойкие покрытия ряда систем, в том числе из несмешивающихся компонентов, – W-Cu, W-C-Cu, Mo-Cu, Mo-C-Cu и Ti-B-Cu. Основные результаты экспериментальных исследований опубликованы в [6–9]. Рассмотрим основные особенности таких покрытий.

При использовании электроконтактных композиционных покрытий систем W-Cu, Mo-Cu, Ti-B-Cu и W-C-Cu износостойкость в условиях сухого трения скольжения без смазки по сравнению с износостойкостью электротехнической меди марки М00 увеличивается в 1,7...2,2 раза. Электроэрозионная стойкость в условиях дуговой эрозии покрытий с наполненной структурой толщиной 25 мкм составляет около 10 000 циклов включений-выключений. Дополнительное повышение электроэрозионной стойкости покрытий достигается путем увеличения их толщины при повторном напылении единичных слоев. В процессе ускоренных испытаний на электроэрозионную стойкость в условиях искровой эрозии покрытия с композиционной наполненной структурой всех систем показывают ее увеличение примерно в 10 раз.

Разработан метод электровзрывного напыления композиционных покрытий различных систем, в том числе W-Cu, Mo-Cu, W-C-Cu, Mo-C-Cu, Ti-B-Cu или со слоистой или наполненной микрористаллической структурой. Определен комплекс характеристик топографии поверхности покрытий – параметры шероховатости Ra , $Rmax$, Sm . При напылении единичных слоев покрытий их толщина достигает 140 мкм, при последовательном напылении нескольких слоев максимальная толщина сформированных покрытий со-

ставляет 2 мм. Толщина покрытий может быть может регулироваться в широких пределах (до 2 мм) в зависимости от условий эксплуатации конкретной номенклатуры упрочняемых деталей. Износостойкость покрытий увеличивается до двух раз, а электроэрозионная стойкость в условиях искровой эрозии – до 10 раз по сравнению с электротехнической медью М00. Результаты работы могут быть использованы для упрочнения медных электрических контактов различной электротехнической аппаратуры.

Библиографический список

1. Иванов Л.И., Дедюрин А.И., Боровицкая И.В. и др. // Перспектив. материалы. 2006. № 5. С. 79–83.
2. Иванов Л.И., Дедюрин А.И., Боровицкая И.В. и др. // Перспектив. материалы. Спец. вып. сент. 2007. Т. 1. С. 158–161.
3. Романов Д.А., Будовских Е.А., Громов В.Е. Электровзрывное напыление электроэрозионностойких покрытий: формирование структуры, фазового состава и свойств электроэрозионностойких покрытий методом электровзрывного напыления. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012.
4. Жмакин Ю.Д., Романов Д.А., Будовских Е.А. и др. // Пром. энергетика. 2011. № 6. С. 22–25.
5. Багаутдинов А.Я., Будовских Е.А., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е. Физические основы электровзрывного легирования металлов и сплавов: моногр. Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2007.

УДК 621.791.92

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА, НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ НАПЛАВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ВСЕХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Малушин Н.Н.

***Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк***

За последнее десятилетие металлургическая отрасль России существенно модернизировала основные фонды, однако степень их износа остается достаточно высокой. В 2009 г. степень износа основных фондов по данным Росстата составила 38,9 %. 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 которых является наплавка.

Наплавка – это нанесение слоя металла на поверхность заготовки или изделия способами сварки плавлением. Различают наплавку восстановительную и изготовительную.

Восстановительная наплавка применяется для получения первоначальных размеров изношенных или поврежденных деталей. В этом случае наплавленный металл близок по составу и механическим свойствам к аналогичным показателям основного металла изделия.

Изготовительная наплавка служит для получения многослойных (чаще биметаллических) изделий. Такие детали состоят из основного металла (основы) и наплавленного рабочего слоя. Основной металл изделия обеспечивает необходимую конструкционную прочность. Слой наплавленного металла придает поверхности изделия заданные свойства: износостойкость, термостойкость, коррозионную стойкость и др. Таким образом, производят наплавку не только при восстановлении изношенных, но и при изготовлении новых деталей машин и механизмов. Наиболее широко наплавка применяется при восстановительных работах и ремонтах. Восстановлению подлежат большинство существующих деталей машин и механизмов металлургического оборудования. Наплавку можно производить практически всеми известными способами сварки плавлением. Однако каждый способ наплавки имеет свои достоинства, недостатки и оптимальные области применения.

В своем докладе [1] академик Б.Е. Патон 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. Здесь существует очень большое поле для деятельности главным образом в материаловедческом плане... Дальнейшее совершенствование технологии наплавки в первую очередь необходимо для ремонта множества деталей машин и механизмов, подвергающихся абразивному износу.... В будущем хорошие перспективы имеют способы наплавки, обеспечивающие минимальное проплавление основного металла: электрошлаковая, плазменно-порошковая, лазерная, микроплазменная ».

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. Она позволяет многократно увеличивать срок службы быстроизнашивающихся и тяжело нагруженных деталей, избавляет промышленность от производства большого количества запасных частей, повышает надежность и работоспособность машин и механизмов». Роль и значение наплавки наглядно иллюстрируют рисунки 1 и 2. Восстановительная наплавка несомненно способствует продлению срока службы многих деталей металлургического оборудования, однако ее значение чрезмерно завышено. Этот тип наплавки обычно применяется для восстановления и упрочнения деталей преждевременно, обычно аварийно вышедших из строя. Разрабатывая тех-

нологию восстановления таких деталей, не всегда удается полностью использовать свойства высоколегированного наплавленного металла. Восстановительную наплавку приходится вести на основной металл, обладающий чаще всего неудовлетворительной свариваемостью. Для предотвращения дефектов в наплавленном металле (холодных и горячих трещин) приходится наплавлять переходный слой, применять высокотемпературный предварительный и сопутствующий подогревы, а также замедленное охлаждение изделия. Для восстановления необходимых служебных характеристик активного рабочего слоя затем производят сложную термическую обработку. Восстановительная наплавка применяется как дополнительный способ продления срока службы деталей, полностью изготовленных из специальных металлов и сплавов.

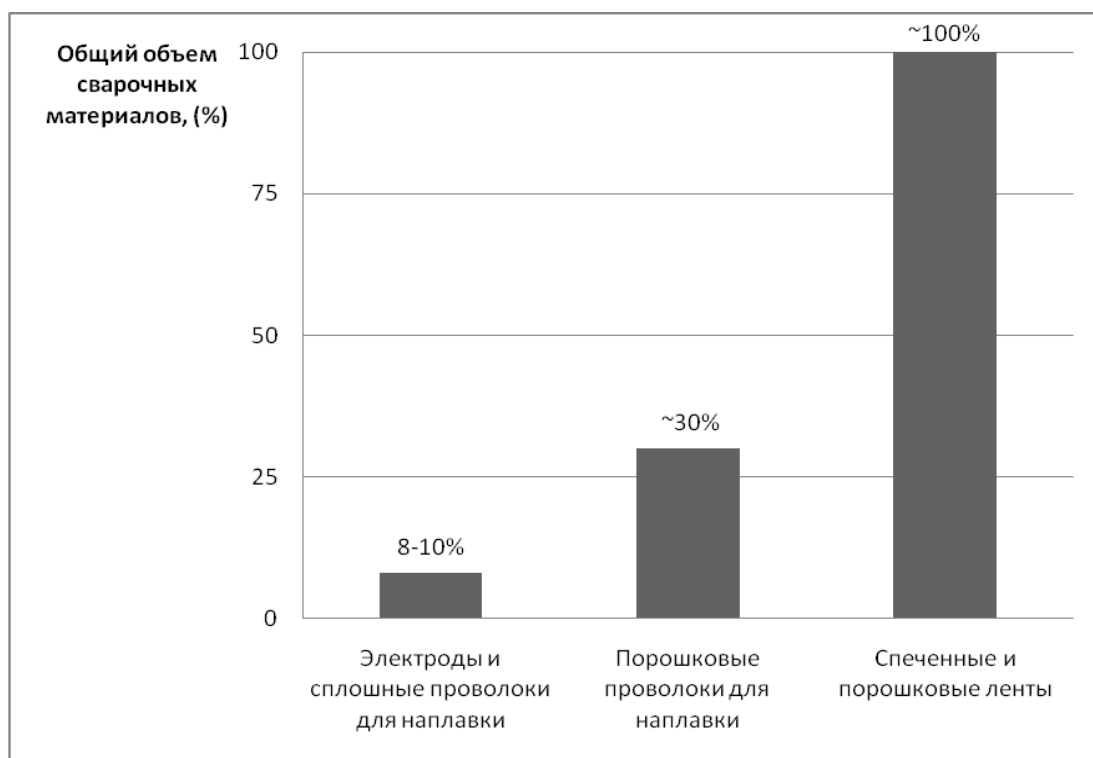


Рисунок 1 – Объем наплавочных материалов в общем объеме сварочных материалов

На наш взгляд, более перспективно применение наплавки для изготовления новых деталей, обладающих заведомо высокими служебными характеристиками. В этом случае, наплавка из метода, применяющегося только для ремонта, превращается в основной технологический процесс изготовления качественно новых деталей и инструмента.

Применяя наплавку для изготовления деталей, получаем возможность обеспечения качества, надежности и долговечности наплавленных деталей на всех стадиях их жизненного цикла, включая для продления срока службы и многократную восстановительную наплавку.

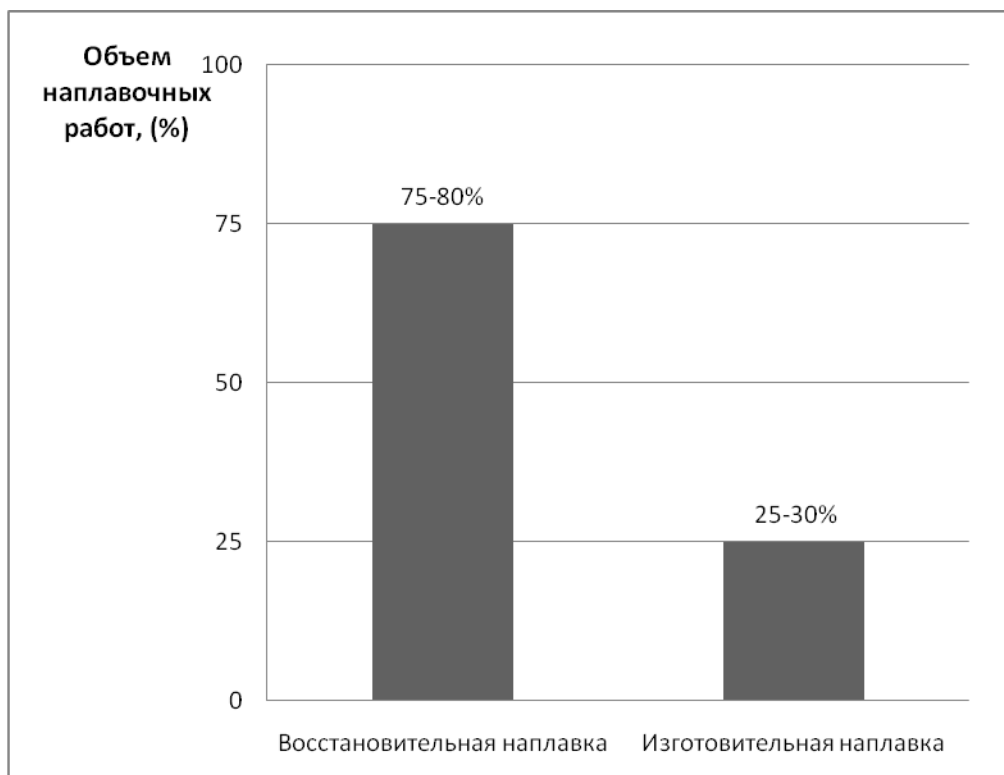


Рисунок 2 – Доля изготовительной наплавки в общем объеме наплавочных работ

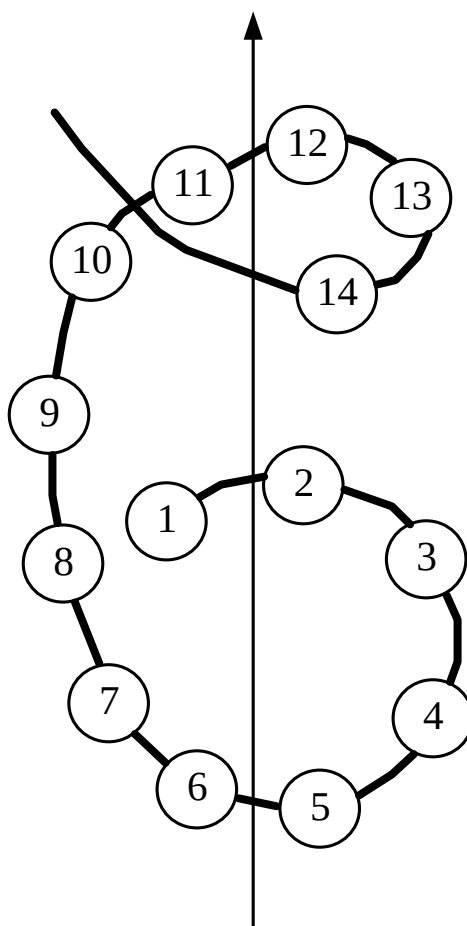
Качество любой продукции закладывается, планируется, обеспечивается и управляется на всех этапах жизненного цикла.

Основными этапами жизненного цикла продукции (петли или спирали качества, спирали Джурана) являются [2]:

- маркетинг и исследование рынка;
- проектирование и разработка продукции;
- снабжение;
- планирование и разработка технологических процессов;
- производство или оказание услуг;
- поверка;
- упаковка и хранение;
- продажа и распространение;
- монтаж и ввод в эксплуатацию;
- техническое содействие и техническое обслуживание;
- послепродажное обслуживание;
- утилизация и переработка после окончания срока службы.

На кафедре металлургии и технологии сварочного производства (МиТСП) Сибирского государственного индустриального университета (СибГИУ) в течение ряда лет при непосредственном участии автора настоящей работы проводились исследования, направленные на решение проблемы повышения качества и долговечности наплавленных деталей машин и механизмов металлургического оборудования путем их изготовления с применением плазменной наплавки активного рабочего слоя теплостойкими сталями

высокой твердости. Обобщением результатов работ в этом направлении является комплексный подход к решению проблемы обеспечения качества наплавленных деталей на всех этапах жизненного цикла на примере изготовления качественных наплавленных прокатных валков, как одних из наиболее ответственных деталей металлургического оборудования, от надежности и работоспособности которых в целом зависит производительность и качество выпускаемой продукции. Основные этапы жизненного цикла наплавленных деталей представлены на рисунке 3.



1 – исследование рынка и условий эксплуатации; 2 – разработка проектного задания; 3 – проектно-конструкторские работы; 4 – составление технических условий; 5 – разработка технологии и подготовка производства;
 6 – материально-техническое снабжение; 7 – изготовление инструмента, приспособлений и контрольно-измерительных средств; 8 – производство наплавленных деталей; 9 – контроль процесса производства; 10 – контроль готовой продукции; 11 – испытания и эксплуатация наплавленных деталей;
 12 – повышение работоспособности в процессе эксплуатации;
 13 – восстановительная наплавка; 14 – утилизация и исследование рынка

Рисунок 3 – Этапы жизненного цикла наплавленных деталей

Для обеспечения требуемого конечного результата при изготовлении наплавленных деталей с применением плазменной наплавки предварительно были решены проблемы, связанные с предотвращением образования холодных трещин, эффективным использованием свойств высоколегированного наплавленного металла, разработаны качественные наплавочные материалы, надежное и высокопроизводительное оборудование, необходимая оснастка и приспособления, методы контроля и измерения [3 – 4].

На первом этапе были изучены условия эксплуатации и проведена статистическая обработка стойкости прокатных валков, изготовленных по традиционной технологии с применением закалки и отпуска. Результаты исследований показали, что наиболее существенным фактором, влияющим на конечный результат (твердость наплавленного металла, отсутствие в нем дефектов, оптимальное напряженное состояние, высокая износостойкость) является метод (технология изготовления).

На этапе разработки проектного задания при выборе результативного показателя, определяющего качество изготовления наплавленных прокатных валков, руководствовались в основном условиями их эксплуатации, а также учитывали свариваемость основного металла с наплавляемым металлом. 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. При выборе результативного показателя качества учитывали также общие положения ГОСТ Р ИСО 3834-1-2007 «Требования к качеству выполнения сварки плавлением металлических материалов. Часть 1. Критерии выбора соответствующего уровня требований». При выборе конструкции валка, наплавочных материалов и способов их нанесения именно изготовительная наплавка позволяет полностью реализовать основные достоинства и преимущества, присущие наплавке. При изготовительной наплавке появляется возможность отказаться от изготовления деталей машин и инструмента полностью из специальных сталей и сплавов. Особые свойства обеспечивает только относительно тонкий рабочий поверхностный слой, наносимый с помощью наплавки. Значительный экономический эффект достигается за счет экономии легирующих элементов путем наплавки слоев с минимальной глубиной проплавления и перемешивания основного металла с наплавленным. Немаловажным преимуществом восстановительной наплавки является возможность на стадии проектирования и отработки технологии правильно выбрать металл основы и рабочего слоя. В предлагаемом технологическом процессе ос-

нову предлагается изготавливать из низколегированных высокопрочных сталей типа стали 30ХГСА, а рабочий слой из теплостойких сталей высокой твердости.

На этапе разработки технологического процесса изготовления прокатных валков для обеспечения качественной наплавки теплостойкими сталями высокой твердости, прежде всего, была решена проблема предотвращения холодных трещин. Для этого были разработаны новые способы наплавки, обеспечивающие определенный термический цикл. Теплостойкие стали типа Р18, Р6М5, Р2М8 обладают неудовлетворительной свариваемостью, поэтому для предотвращения образования холодных трещин традиционная технология наплавки предусматривает обязательное применение высокотемпературного предварительного и сопутствующего подогрева ($T_{\text{под}} = 400-700^{\circ}\text{C}$) и замедленного охлаждения изделия. При этом происходит образование пластичных продуктов распада аустенита, обладающих низкой твердостью и износостойкостью, что вызывает необходимость проведения сложной термической обработки.

В разработанных на кафедре МиТСП СибГИУ способах наплавки теплостойких сталей высокой твердости для предотвращения образования холодных трещин предложено использовать эффект кинетической пластичности («сверхпластичности»). Проявление эффекта кинетической пластичности в процессе мартенситного или бейнитного превращения было отмечено при исследованиях свойств наплавленного теплостойкими сталями высокой твердости металла на установках тепловой микроскопии типа ИМАШ.

Основой способа многослойной наплавки является соблюдение определенного термического цикла. Рекомендуемый термический цикл для плазменной наплавки прокатных валков изображен на рисунке 4. Такой термический цикл предотвращает образование трещин и обеспечивает высокую твердость наплавленного металла при относительно несложной технологии наплавки. Особенностью предложенных способов наплавки является применение низкотемпературного предварительного и сопутствующего подогрева ($T_{\text{под}} = 150-200^{\circ}\text{C}$). Для получения наплавленного металла с низкой склонностью к образованию трещин регулируется уровень временных напряжений в процессе наплавки путем их частичной релаксации за счет проявления эффекта кинетической пластичности в момент протекания мартенситного или бейнитного превращений. Особенность предлагаемого цикла наплавки заключается в трех его стадиях. Первая обеспечивает ограниченное время нагрева и повышенную скорость охлаждения в области высоких температур, предотвращает рост зерна и распад аустенита с образованием равновесных, но низкопрочных структур. Она может быть реализована применением высококонцентрированных источников нагрева (например, сжатой дугой) и сопутствующего охлаждения. Вторая стадия термического цикла обеспечивает нахождение наплавленного металла в аустенитном состоянии при выполнении всех слоев в процессе наплавки. Это достигается применением подогрева с $T_{\text{под}} = M_n + (50 - 100^{\circ}\text{C})$. Для получения наплавленного металла с низ-

кой склонностью к образованию трещин регулируется уровень временных напряжений в процессе наплавки на третьей стадии термического цикла путем временного снижения $T_{\text{под}}$ ниже температуры M_n .

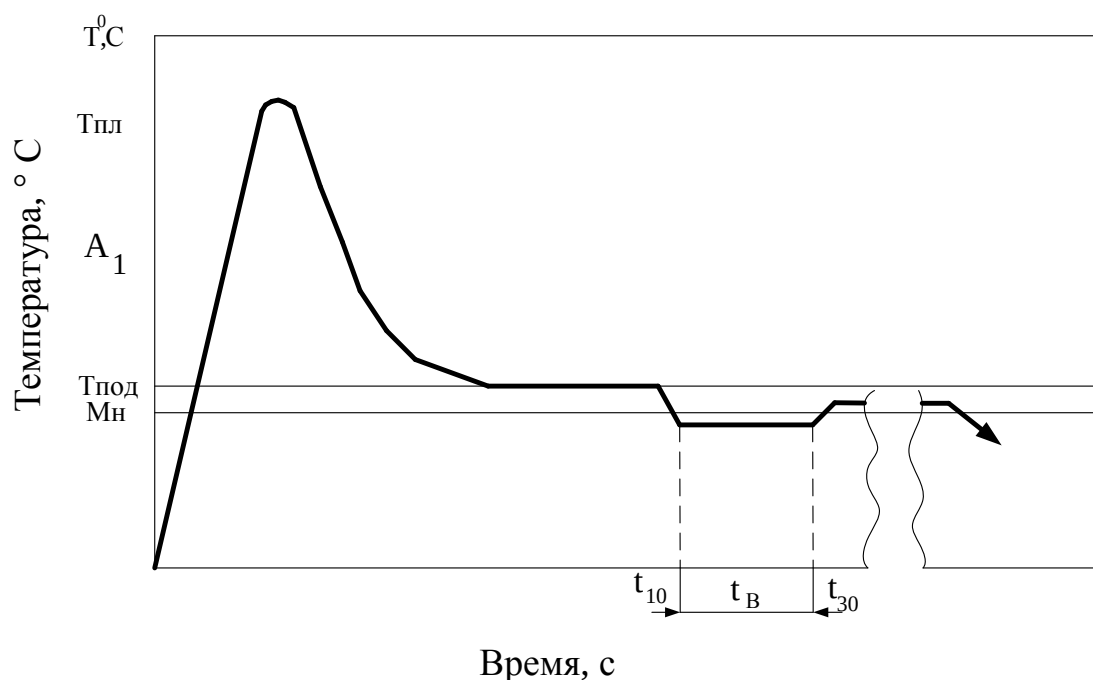


Рисунок 4 – Схема термического цикла при плазменной наплавке

При этом временные напряжения снижаются за счет частичной релаксации в момент протекания мартенситного или бейнитного превращений. Это позволяет получить наплавленный металл в закаленном состоянии с низким уровнем остаточных напряжений.

Выбор плазменной наплавки как 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 материалов. Особенностью сжатой дуги, как источника тепла, является 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 про-

цесса плазменной наплавки на обратной полярности в защитно-легирующей среде азота с нетоковедущей присадочной порошковой проволокой.

Использование азота в качестве защитного газа по сравнению с аргонem 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.

Дополнительно улучшить свойства наплавленного высоколегированного металла, а также обеспечить благоприятное напряженное состояние позволяет применение высокотемпературного отпуска и ультразвуковой поверхностной упрочняющей обработки (УПУО). Так, твердость металла после наплавки порошковыми проволоками ПП-Р18Ю и ПП-Р18ЮН составляет HRC 52-57. Структура наплавленного металла при этом близка по своему составу к структуре быстрорежущей стали типа Р18 в закаленном состоянии и состоит из мартенсита (около 60 %), карбидов (до 20 %) и остаточного аустенита (до 30 %). 3-4-х кратный высокотемпературный отпуск при температуре 580 °С увеличивает твердость наплавленного металла до HRC 62-64. Увеличение твердости объясняется превращением остаточного аустенита в мартенсит и эффектом дисперсионного твердения. Твердость наплавленного металла после отпуска на вторичную твердость и УПУО достигает HRC 64-66 [3 – 4].

Для плазменной наплавки в защитно-легирующей среде азота сотрудниками кафедры МиТСП с участием автора разработаны порошковые проволоки, обеспечивающие широкую гамму химических составов и эксплуатационных свойств наплавленного металла. Для устранения пористости в состав сердечника порошковой проволоки с шихтой из мелкодисперсных чистых порошков, введен алюминий, связывающий избыточный азот в нерастворимые в жидком металле соединения. Для уменьшения склонности к прообразованию, вызванному водородом, в состав сердечника порошковой проволоки дополнительно предложено вводить кремнефтористый или алюмофтористый натрий (Na_2SiF_6 , Na_3AlF_6), связывающие водород в соединение $[\text{HF}]$.

Разработанные порошковые проволоки обеспечивают получение наплавленного металла типа теплостойких сталей высокой твердости таких как, Р18, Р6М5 и Р2М8. Порошковые проволоки предназначены для плазменной наплавки в защитно-легирующей среде азота с целью восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся деталей оборудования и металлообрабатывающего инструмента, когда требуется особенно высокая твердость и износостойкость рабочих поверхностей.

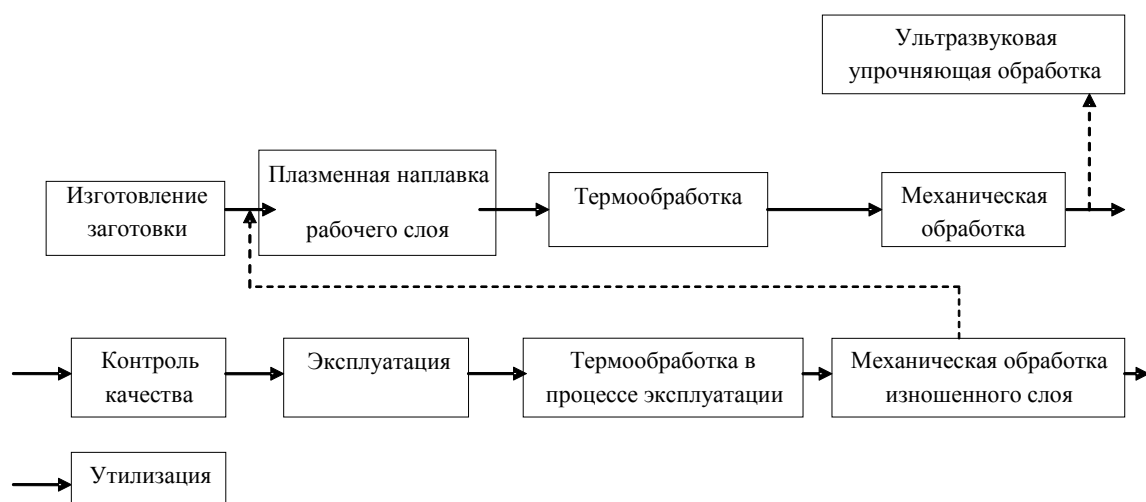
На седьмом этапе (изготовление оснастки, инструмента, приспособлений) для плазменной наплавки нетоковедущей порошковой проволокой была разработана установка, скомпонованная из серийно выпускаемого оборудо-

вания, 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 [3]. Разработанные новые устройства для измерения и записи термического цикла, а также для охлаждения наплавляемых деталей позволили в процессе наплавки корректировать параметры режима наплавки для обеспечения предложенных термических циклов.

На этапе жизненного цикла «эксплуатация» для повышения качества деталей, наплавленных теплостойкими сталями высокой твердости, предложено в процессе их эксплуатации производить дополнительный высокотемпературный отпуск. Применение высокотемпературного отпуска в процессе эксплуатации наплавленных валков холодной прокатки приводит пластически деформированный металл в более устойчивое структурное состояние. Наклеп зоны сплавления основного металла с наплавленным полностью снимается за счет явления рекристаллизации, при этом восстанавливается усталостная прочность до первоначальных значений. Стойкость валков в результате возрастает.

И наконец, для увеличения срока службы наплавленных деталей, как и обычных изготовленных без наплавки, предлагается применять восстановительную наплавку.

Теоретические подходы и результаты экспериментальных исследований были реализованы нами при разработке нового технологического процесса изготовления наплавленных рабочих валков холодной прокатки. Схема технологического процесса изготовления наплавленных рабочих валков холодной прокатки представлена на рисунке 5.



—> - основные операции; - -> - дополнительные операции

Рисунок 5 – Технологическая схема изготовительной наплавки с применением комплексных технологий упрочнения

Основными операциями предлагаемого технологического процесса являются: изготовление заготовки под наплавку из низколегированной стали типа стали 30ХГСА; плазменная наплавка активного рабочего слоя теплоустойчивыми сталями высокой твердости; термическая обработка наплавленных деталей в виде 3-4-х кратного отпуска при температуре 560 °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 обработке наплавленного слоя [4].

Разработанная технология позволяет упростить процесс наплавки, избежать образования трещин, позволяет максимально использовать свойства наплавленного высоколегированного металла и обеспечивает благоприятное напряженное состояние в наплавленных валках.

По предложенной схеме реализована и прошла промышленные испытания технология изготовления рабочих валков холодной прокатки с применением плазменной наплавки. Опытно-промышленные партии наплавленных валков при испытаниях на металлургических предприятиях Санкт-Петербурга, Новосибирска и Новокузнецка 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 исследований предложен технологический процесс, обеспечивающий решение проблемы повышения качества и долговечности наплавленных деталей машин и механизмов металлургического оборудования на всех этапах их жизненного цикла, включая конструкцию детали, способы многослойной наплавки, порошковые проволоки, необходимое оборудование и оснастку, способы повышения стойкости в процессе эксплуатации.

Библиографический список

1. Патон Б.Е. Проблемы сварки на рубеже веков//Сварщик.1999. №1 С.2-3.
2. Исикава К. Японские методы управления качеством: сокр. пер. с англ. / К. Исикава. – М.: Экономика, 1988. – 215 с.
3. Малушин Н.Н. Плазменная наплавка: Учеб. пособие для вузов/Н.Н. Малушин, В.А. Терентьев.- Новокузнецк: СибГММА. – 1997. -80 с.
4. Малушин Н.Н. Разработка теории и комплексных технологий упрочнения деталей машин и механизмов теплоустойчивыми сталями высокой твердости с применением плазменной наплавки.- Металлургия: технологии, управление, инновации, качество: сб. трудов Всероссийской научно- практической конференции.- Новокузнецк: Изд. Центр СибГИУ, 2011.-С.60-69.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СВАРОЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА ДЛЯ НАПЛАВКИ ТЕПЛОСТОЙКИМИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМИ СТАЛЯМИ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ВОСТРЕЦОВ Г.Н., ВОСТРЕЦОВА Т.Г.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Проблема повышения долговечности инструмента путем наплавки и последующего упрочнения становится особенно актуальной в связи с совершенствованием и развитием новых высокопроизводительных технологических процессов обработки металлов и потребностью восстановления инструмента в широком объеме [1].

В настоящее время существует два варианта регулирования термического цикла при наплавке закаливающих сталей:

- в результате использования высокотемпературного предварительного и сопутствующего подогрева (до 500 – 700 °С) и наплавки с замедленным охлаждением металла с печью достигается получение диффузионных структур распада аустенита, уменьшающих вероятность образования трещин [2];

- регулированием термического цикла наплавки достигается ускоренное охлаждение металла в области минимальной устойчивости переохлажденного аустенита при диффузионном превращении и замедленное охлаждение металла при мартенситном превращении [3].

В первом случае металл после наплавки имеет в структуре диффузионные продукты распада аустенита и требует последующей сложной термической обработки для придания ему необходимых служебных свойств. В качестве такой термической обработки рекомендуется закалка с температур 1240 – 1260 °С, например, для наплавленного металла типа Р2М8 и Р6М5, и последующий многократный отпуск при температуре 560 °С. Реализация второй схемы наплавки позволяет получить наплавленный теплостойкий металл в закаленном состоянии, обладающий необходимым комплексом свойств. Снижение вероятности образования трещин происходит в результате сверхпластичности металла в момент протекания мартенситного превращения. Однако при реализации второй схемы наплавки возникает значительная неравномерность свойств наплавленного металла, обусловленная процессами перераспределения легирующих элементов между твердым раствором и карбидной фазой в зоне термического влияния. Появление «разупрочненного» участка наплавленного металла в значительной степени снижает работоспособность деталей и инструмента. При этом выбор техники наплавки (например, по винтовой линии, отдельными валиками тел вращения или других типов поверхностей) не решает проблему повышения рабо-

тоспособности деталей, а в некоторых случаях выбор такой схемы регулирования термического цикла наплавки является ошибочным.

Таким образом, как при реализации первой, так и второй схем наплавки закаливающих сталей в большинстве случаев требуется сложный цикл последующей термической обработки. Использование дополнительных высококонцентрированных источников тепла для обработки зоны термического влияния наплавленного металла, например, таких как фотонный или электронный луч может обеспечить дополнительное упрочнение проблемных зон металла после наплавки.

Поэтому целью работы является изучение процессов формирования структуры, фазового состава и свойств наплавленного теплостойкого металла под воздействием высокоэнергетических сварочных источников тепла.

При исследовании процессов формирования фазового состава, структуры и свойств теплостойкого металла можно принять следующие основные положения:

- возможность многократной закалки теплостойких сталей;
- необходимость максимального насыщения твердого раствора карбидообразующими элементами при нагреве для формирования окончательных высоких служебных свойств;
- возможность получения теплостойкого наплавленного металла в закаленном состоянии без трещин;
- предварительный подогрев теплостойкого металла перед наплавкой должен обеспечить перевод его в пластическое состояние.

Основной задачей предварительного подогрева теплостойкого металла перед наплавкой является перевод его в аустенитное пластичное состояние с высоким содержанием легирующих элементов в твердом растворе. В этом случае теплостойкий металл способен к дисперсионному упрочнению при отпуске на вторичную твердость. В конечном итоге наплавленный теплостойкий металл в рабочем состоянии имеет мартенситную структуру и высокую твердость. В таблице 1 приведены данные по содержанию легирующих элементов в твердом растворе и карбидной фазе, твердости наплавленных экономно легированных вольфрамом теплостойких сталей.

Термический цикл плазменной наплавки и лазерной обработки имитировали на высокоскоростном высокотемпературном дилатометре. Содержание основных легирующих элементов в твердом растворе фиксировалось ускоренным охлаждением металла.

При температурах 850 – 950 °С происходит интенсивное насыщение хромом аустенита, которое можно считать уже законченным при температурах около 1050 °С. Переход вольфрама и молибдена в твердый раствор начинается при несколько более высоких температурах и достигает максимума при 1100 – 1150 °С.

Для оценки кинетики протекания мартенситного превращения, а также для регулирования термического цикла наплавки была построена диаграмма превращения аустенита в мартенсит (рисунок 1). При построении такой диа-

граммы время аустенизации составляло 120 с, а скорость охлаждения – 0,83 °С/с. Такие условия охлаждения могут быть характерными для плазменной наплавки.

Таблица 1 – Параметры решеток фаз и содержание основных легирующих элементов в карбидной фазе (числитель) и твердом растворе (знаменатель) наплавленных теплостойких сталей

Сталь	Состояние	Параметр кристаллической решетки, нм			Содержание легирующих элементов, %			Твердость, HRC
		Fe-α	Fe-γ	M ₆ C	W	Mo	Cr	
P2M8	После наплавки	0,2887	0,3628	1,1076	<u>0,205</u> 1,095	<u>1,31</u> 6,69	<u>0,40</u> 3,40	57
	После отпуски	0,2882	0,3609	1,1076	<u>0,42</u> 0,88	<u>2,88</u> 5,12	<u>0,95</u> 2,85	65,5
P6M5	После наплавки	0,2879	0,2618	1,1034	<u>0,73</u> 5,27	<u>1,51</u> 3,49	<u>0,30</u> 3,50	56
	После отпуски	0,2870	-	1,1030	<u>1,37</u> 4,63	<u>2,77</u> 2,23	<u>1,09</u> 2,71	65

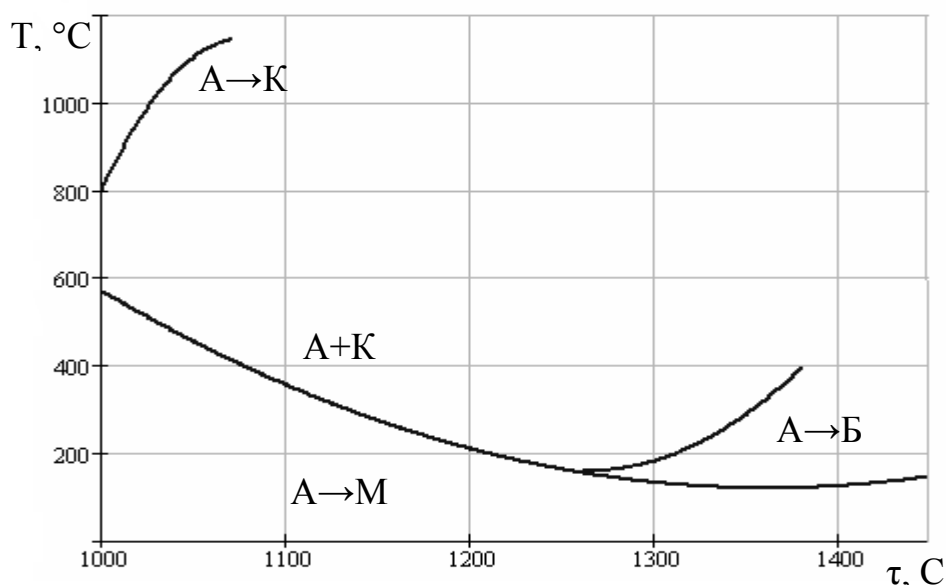


Рисунок 1 – Диаграмма превращения аустенита наплавленного теплостойкого металла типа P2M8

Из диаграммы видно, что чем выше степень пересыщения аустенита легирующими элементами и более длительная выдержка при критических температурах, тем раньше начинается и протекает полнее процесс выделения карбидов. Установлена прямая связь между выделением карбидов при охлаждении после предварительного подогрева теплостойкого металла перед наплавкой и образованием разупрочненных участков металла.

Практика наплавки и последующей эксплуатации показывает склон-

ность таких участков к хрупкому разрушению. Например, если рассмотреть два крайних варианта: замедленное охлаждение металла после наплавки и принудительное ускоренное охлаждение. На рисунке 2 приведены результаты распределения избыточных карбидов по сечению наплавленного и основного теплостойкого металла типа P2M8 при различных условиях охлаждения.

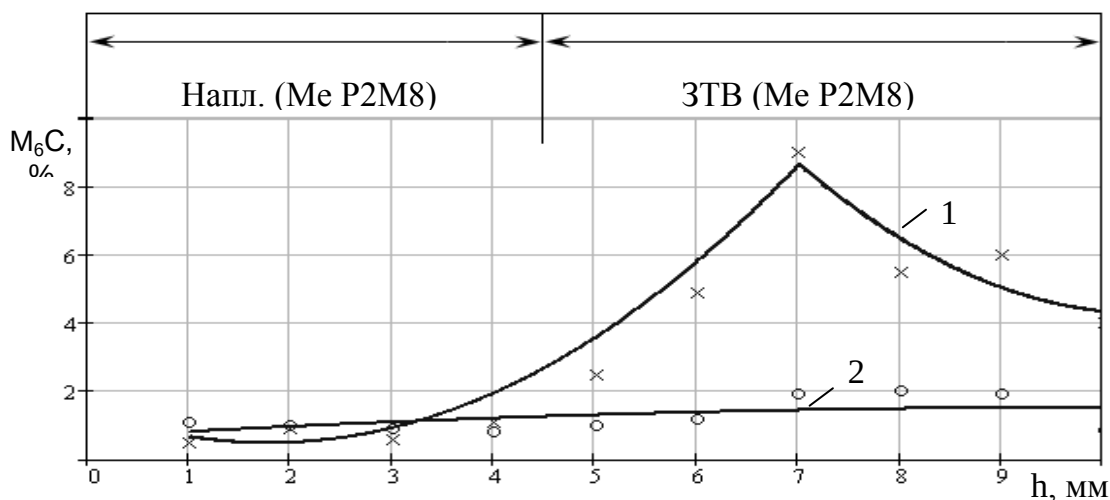


Рисунок 2 – Распределение избыточных карбидов в наплавленном и основном металле типа P2M8 (ЗТВ) при плазменной наплавке (1) и после лазерной обработки (2)

Замедленное охлаждение приводит к значительному выделению карбидной фазы (до 10 %), которая преимущественно располагается по границам зерен. Такое расположение карбидов может значительно повысить вероятность разрушения металла в процессе наплавки. Дополнительно обедненный легирующими элементами аустенит не способен к дальнейшему упрочнению при отпуске на вторичную твердость.

Ускоренное охлаждение сохраняет высокую легированность твердого раствора и способность наплавленного металла к дальнейшему упрочнению при отпуске.

Исследование образцов из наплавленного теплостойкого металла при мартенситном превращении в режиме релаксации напряжений (рисунок 3, а) и в режиме ползучести (рисунок 3, б) позволило заключить, что наплавленный металл в момент протекания мартенситного превращения обладает сверхпластичностью и способен релаксировать значительные напряжения, возникающие при наплавке.

Максимальное относительное удлинение при мартенситном превращении наблюдается в интервале температур 160 – 120 °С и, вероятно, связано с количеством мартенсита образующегося в единицу времени.

В результате плазменной наплавки прокатных валов, используемых при производстве ленты из трансформаторной стали, и последующей обработки рабочей поверхности лазерным лучом зоны термического влияния было достигнуто равномерное распределение вторичной твердости (рисунок 4).

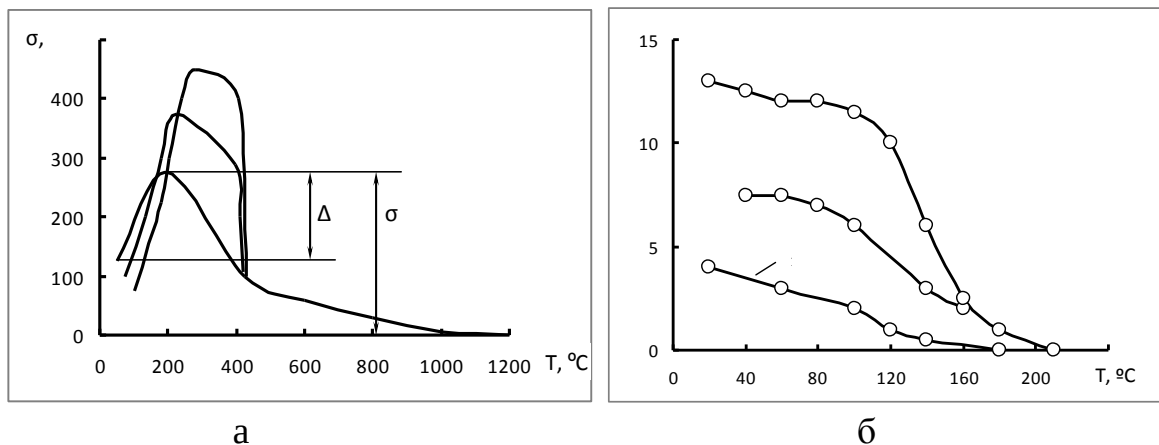
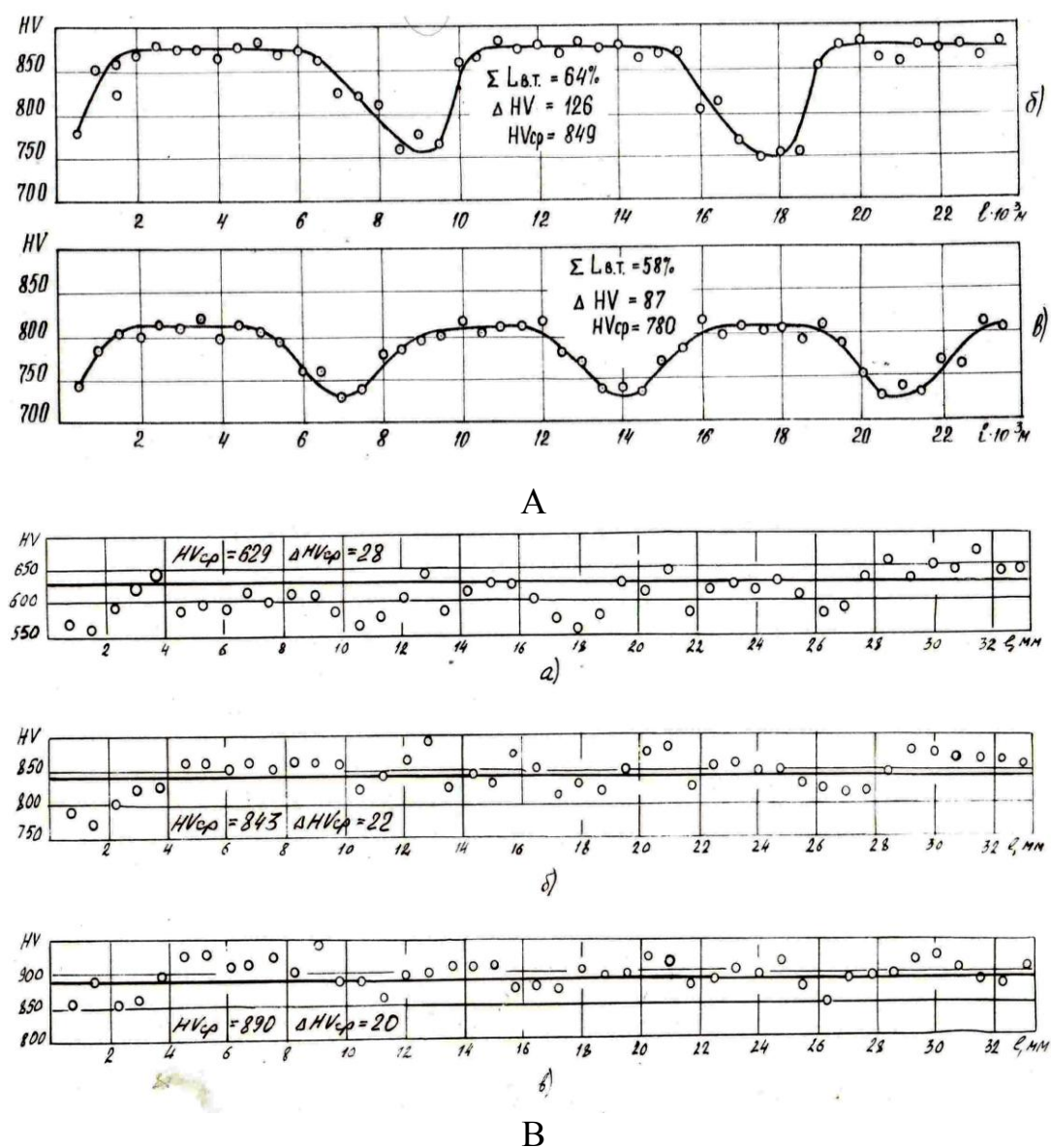


Рисунок 3 – Изменение уровня напряжений (а) и относительного удлинения (б) наплавленного металла типа Р2М8 при мартенситном превращении



А – после наплавки; В – после лазерной обработки
Рисунок 4 – Распределение твердости на поверхности наплавленного металла типа Р2М8

Структура характерных участков наплавленного металла и зоны термического влияния представлены на рисунках 5 и 6.

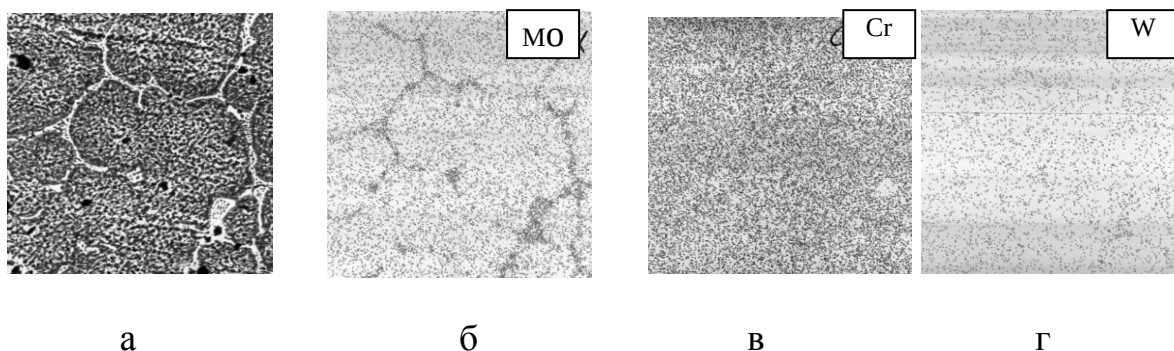


Рисунок 5 – Характерная структура и распределение основных легирующих элементов в ЗТВ наплавленного металла типа P2M8 (x 500 увеличено)

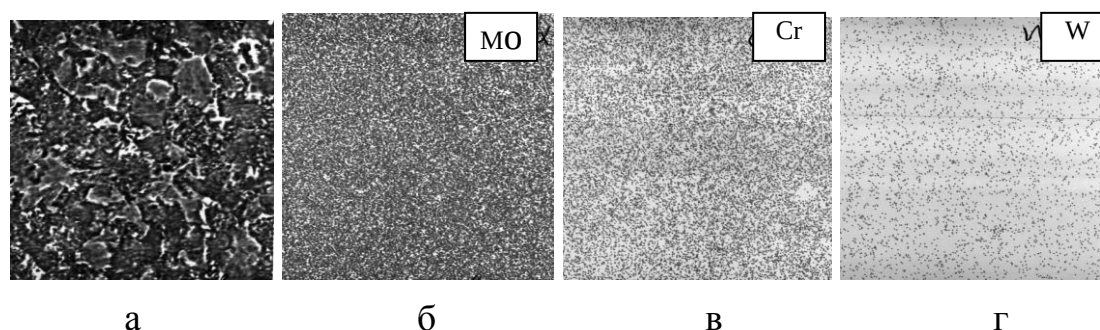


Рисунок 6 – Характерная структура и распределение основных легирующих элементов в ЗТВ наплавленного металла типа P2M8 после лазерной обработки (x 500 увеличено)

Таким образом, можно сформулировать основные требования к термическому циклу наплавки и последующей обработки высокоэнергетическим сварочным источником тепла:

- нагрев до температуры максимального растворения карбидообразующих элементов в аустените;
- ускоренное охлаждение металла в области высоких температур для предотвращения выделения избыточных карбидов типа M_6C ;
- охлаждение со скоростями выше критической скорости закалки в области минимальной устойчивости переохлажденного аустенита при диффузионном превращении;
- замедленное охлаждение при мартенситном превращении для релаксации возникающих термических напряжений в результате сверхпластичности металла;
- обработка зоны термического металла лазерным источником тепла.

Выводы.

1. Анализ существующих представлений о технологической свариваемости теплостойких инструментальных сталей, существующих и перспек-

тивных способах наплавки при изготовлении и восстановлении деталей и инструмента, показал необходимость предварительной термической подготовки теплостойкого металла перед наплавкой;

2. Установлено, что фазовый состав, структура и твердость теплостойкого металла определяется режимами аустенизации перед наплавкой. Проведение аустенизации металла типа Р2М8 при температурах 1100 – 1150 °С способствует достаточно полному растворению вольфрама, хрома и молибдена в аустените;

3. Мартенситное превращение наплавленных теплостойких сталей сопровождается эффектом сверхпластичности. Для наплавленного металла типа Р2М8 экспериментально установлено, что наиболее интенсивный рост относительного удлинения при охлаждении в области температур мартенситного превращения наблюдается при температурах 160 – 120 °С. Достаточно полная релаксация напряжений достигается при переохлаждении ниже M_n на 30 – 50 °С;

4. Установлено, что в результате лазерной обработки поверхности наплавленного теплостойкого металла происходит значительное измельчение карбидной фазы, снижение до 2-3% количества избыточных карбидов и насыщение твердого раствора легирующими элементами. Наплавленный теплостойкий металл обладает равномерной твердостью по всей по всей поверхности. Твердость металла типа Р6М5 после наплавки и отпуска на вторичную твердость составляет HRC 64-65.

5. Сформулированы основные требования к термическому циклу предварительного подогрева и наплавки, что легло в основу разработки технологических процессов плазменной наплавки и плазменной обработки валков для прокатки трансформаторной стали.

Библиографический список

1. Малушин Н.Н. Анализ работоспособности наплавленных рабочих валков стана холодной прокатки/ Н.Н.Малушин, Н.С.Зубков// Изв. Вузов. Черная металлургия. - 1989. №10. – С. 62-65.
2. Акулов А.И. Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. Учебник для студентов вузов. - М.: Машиностроение, 1977. – 432 с., с ил.
3. Зубков Н.С., Федоров Н.С., Терентьев В.А. Наплавка хромовольфрамовой стали, не требующая термообработки. //Автоматическая сварка. 1980. №3. с. 53–55.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 669.046.516 (043)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ МЕТАЛЛА В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ НА КАЧЕСТВО СЛЯБОВОЙ ЗАГОТОВКИ

ФЕЙЛЕР С.В., Протопопов Е.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

Современные тенденции в развитии непрерывной разливки стали заставляют пересматривать традиционные конструктивные решения основных технологических узлов МНЛЗ и расширять использование, в частности, промежуточного ковша, до функций универсального агрегата для рафинирования стали.

Естественно, что в новых условиях ведения процесса необходимо последовательно рассматривать сложный комплекс гидродинамических, теплообменных и физико-химических явлений, протекающих в агрегатах выплавки, внепечной обработки и разливки стали. Каждая из этих систем отличается друг от друга изменением температуры и вязкости металла во времени, развитием турбулентности, естественной и вынужденной конвекции, условиями удаления неметаллических включений и т.д.

Выполненные численное и физическое моделирование гидродинамики и теплопереноса в промежуточном ковше слябовой МНЛЗ подтвердили, что интенсивность изучаемых процессов в системе «газ–шлак–металл» определяется гидродинамическими условиями в этих фазах и, как правило, лимитируется процессами переноса на поверхностях раздела.

Моделирование движения металла проводили для условий разливки слябовой заготовки сечением 200×1400 мм со скоростью 1,2 м/мин при различных вариантах конструкции промежуточного ковша.

В целом анализ экспериментальных данных показал, что при использовании в промежуточном ковше дополнительных устройств для распределения потоков моделирующей жидкости, значительно увеличивается время перемещения жидкости в ковше, обеспечивается интенсивное перемешивание и высокая степень гомогенизации, что в реальных условиях, очевидно, будет обеспечивать, выравнивание, корректировку и регулирование химического состава и температуры металла, улучшать условия ассимиляции покровным шлаком неметаллических включений. В частности при установке перегородок с отверстиями наблюдали более равномерное распределение скоростей движения моделирующей жидкости и уменьшение объема застой-

ных зон, что позволило в дальнейшем обосновать оптимальный вариант размещения для опытно-промышленных исследований.

Опытно-промышленные исследования проводили с использованием огнеупорных перегородок в промежуточном ковше слябовой МНЛЗ ОАО «ЗСМК», которая предназначена для разливки заготовок сечением 200 (250)×1050-1750 мм. При этом скорость разливки в зависимости от марки стали, толщины заготовки и температуры металла в промежуточном ковше составляет 1,0-1,8 м/мин.

Разливку металла производили через промежуточный ковш номинальной емкостью 60 т, при этом стальпроводку из разливочного в промежуточный ковш осуществляли с использованием двух защитных труб, смещенных к задней стенке.

В качестве сравнительных использовали плавки текущего производства с разливкой металла через промежуточный ковш базовой конструкции. В течение разливки опытных и сравнительных плавков из промежуточного ковша отбирали пробы металла и шлака с одновременным замером температуры ванны.

Исследования показали, что в промежуточном ковше, оборудованном огнеупорными перегородками и разделенном на приемную и разливочные ванны, наблюдается более стабильный температурный режим в ваннах по сравнению с разливкой через промежуточный ковш базовой конструкции. Так, средние значения потерь тепла за время разливки плавки на сравнительной серии составляли 6,2 °С, в приемной ванне на опытных сериях – 6 °С, а в разливочных ~ 4 °С. При этом разница температур стали между приемной и разливочными камерами в среднем за плавку составляла 2,5 °С.

Загрязненность металла неметаллическими включениями оценивали по количеству включений различных типов и размеров (от 4 мкм и более) по всей площади шлифов при увеличении ×250. Необходимо отметить, что во всех пробах металла из промежуточного ковша основную массу составляли глиноземные включения Al_2O_3 с примесью MgO размером от 4 до 8 мкм. Кроме единичных неметаллических включений на некоторых шлифах встречались скопления Al_2O_3 с примесью MgO в оболочке MnS , а также отдельные гетерогенные неметаллические включения сложного состава размером до 840 мкм, представляющие собой частицы шлаковой фазы и продукты размывания футеровки сталеразливочного и промежуточного ковшей.

Установлено, что при использовании перегородок количество включений в пробах металла значительно меньше относительно базового варианта.

По содержанию и изменению Al_2O_3 в шлаке промежуточного ковша можно, в целом, отметить тенденцию его увеличения и в приемной, и в разливочных ваннах, как от плавки к плавке в серии, так и от начала до конца разливки каждой плавки. При этом в приемной камере промежуточного ковша опытных плавков его содержание было выше, чем на сравнительных, что подтверждает ассимиляцию включений Al_2O_3 покровным шлаком.

Таким образом, экспериментальные исследования гидродинамики ме-

талла в 60-т промежуточном ковше МНЛЗ с использованием численного, физического моделирования и опытно-промышленных исследований показали, что при использовании дополнительных устройств для распределения потоков обеспечивается более энергичное перемешивание металла, усреднение его по химическому составу и температуре, удаление неметаллических включений.

УДК 669.184

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ И НАГРЕВА СЛИТКОВ НА КАЧЕСТВО МАКРОСТРУКТУРЫ СЛЯБОВОЙ ЗАГОТОВКИ В УСЛОВИЯХ ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»

УМАНСКИЙ А.А., ЧЕРНЫШЕВА Н.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Производство слябовой заготовки на ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» из слитков, разлитых в изложницы, характеризуется повышенной величиной брака по дефектам макроструктуры (расслой, усадочная рыхлость, неметаллические включения). По данным за 2010 г. на комбинате получено более 1100 т брака готовой слябовой заготовки по перечисленным дефектам.

На качество макроструктуры слябов определяющее влияние оказывает внутренняя структура исходных слитков, так как из-за больших размеров поперечного сечения слябов проработка металла при деформации минимальна. В свою очередь на качество внутренней структуры слитков в значительной степени определяется режимами их затвердевания в процессе транспортировки и нагрева слитков под прокатку.

С целью исследования влияния режимов нагрева слитков на формирование внутренней структуры слитков в условиях ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» проведен опытно-промышленный эксперимент. Слитки плавки стали 3пс текущего производства, посаженные в ячейки нагревательных колодцев с одинаковой (900 °С) температурой, были разделены на две партии. Первая партия слитков нагревалась по технологии с повышенном теплосодержании, вторая партия по традиционной технологии нагрева слитков горячего посада. Продолжительность нагрева первой и второй партии составила через 3 ч 15 мин и 5 ч 40 мин соответственно. После нагрева слитки обеих партий были прокатаны на блюминге на слябовую заготовку одинакового сечения.

В результате проведенного исследования макроструктуры установлено, что качество внутренней структуры слябов, полученных из нагретых по традиционной технологии слитков, значительно ниже по сравнению со слябами, полученные из слитков, нагретых по технологии с повышенным теп-

лосодержанием. Количество несплошностей на слябах, полученных из слитков с меньшим временем нагрева, ниже в 1,4 раза. Кроме того на 22 % слябов, полученных из нагретых по традиционной технологии слитков, имеются заполненные шлаком несплошности, а на слитках с минимальным временем нагрева такие дефекты отсутствуют. Металлографическим анализом установлено, что основными составляющими шлака во внутренних несплошностях являются оксиды железа, кремния, марганца, а также сложные соединения на их основе (фаялит Fe_2SiO_4), что нехарактерно для конвертерного шлака. Таким образом, можно сделать вывод, что основным источником образования шлака в несплошностях является окисление металла печной атмосферой при нагреве слитков под прокатку.

При увеличении времени нахождения слитков в нагревательных коловцах при высокой температуре увеличивается вероятность нарушения сплошности «моста» плотного металла, в результате чего происходит оголение усадочной раковины и окисление последней кислородом печной атмосферы с образованием шлака. Наличие в составе шлака фаялита с температурой плавления 1178°C приводит к тому, что при нагреве слитков под прокатку до температуры 1300°C шлак переходит в жидкое состояние и проникает в расположенные под усадочной раковинной поры (подусадочная рыхлость). В процессе проведения опытных плавов присутствие шлака в жидкой фазе зафиксировано при наблюдении процесса обрезки концевых участков раската на ножницах после блюминга.

Для подтверждения полученных выводов о влиянии продолжительности нагрева слитков на качество их макроструктуры проведен анализ данных по 50-ти плавкам стали 3пс текущего производства, из которых слитки 25 плавов нагревались по технологии с повышенным теплосодержанием, а слитки оставшихся 25 плавов – по традиционной технологии для слитков горячего посада. По результатам анализа производственных данных установлено, что при использовании технологии нагрева слитков с повышенным теплосодержанием дополнительная обрезка из-за наличия внутренних дефектов в среднем ниже в 1,9 раза относительно традиционной технологии нагрева, что подтверждает данные эксперимента.

По полученным данным при нагреве слитков по технологии с повышенным теплосодержанием расходный коэффициент металла на прокат при переработке слитков в слябы снижается на 1,5 кг/т. На уменьшение расходного коэффициента наибольшее влияние оказало снижение потерь в виде угара и окалина (1,2 кг/т), что обусловлено меньшей на 2,0-2,5 часа продолжительностью нагрева при использовании технологии нагрева слитков с повышенным теплосодержанием. Кроме того, зафиксировано снижение технологической обрезки на ножницах после блюминга на 0,3 кг/т за счет уменьшения величины торцевой утяжки. Данный факт связан с более благоприятным распределением температур по сечению слитка при использовании технологии нагрева слитков с повышенным теплосодержанием.

Таким образом, по результатам проведенных на ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»

исследований можно констатировать, что использование режимов нагрева слитков с повышенным теплосодержанием позволяет улучшить качество макроструктуры слябовой заготовки при одновременном снижении расхода металла на прокат.

УДК 669.168

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОКСИДОВ МАРГАНЦА С УГЛЕРОДОМ ПРИ БЕСКОНТАКТНОМ (КОСВЕННОМ) ВОССТАНОВЛЕНИИ

РОМАНЕНКО Ю.Е., РОЖИХИНА И.Д.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

В связи с дефицитом и высокой стоимостью кокса, а также неудовлетворительным его качеством, постоянно ведется поиск углеродистых заменителей кокса. Одним из таких заменителей могут быть каменные угли. Технический анализ восстановителей (таблица 1) показал, что в углях содержится высокое содержание летучих веществ. Предполагается, что углеводороды и сажа, образующаяся в результате термического разложения углеводородов, полученных при пиролизе углей, адсорбируется на поверхности руды, интенсифицируя процесс восстановления [1].

Таблица 1 – Характеристика углеродистых восстановителей

Наименование	Зола A^d	Летучие V^{daf}	Влага W^f	Химический состав золы						
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S	Fe _{общ}
Уголь марки 2БПК (бурый)	7,7	48,5	35,3	21,9	5,4	45,3	5,3	0,1	-	2,3
Уголь марки ДО (длиннопламенный)	7,6	39,7	15,4	54,3	25,6	4,6	1,72	1,0	-	2,5
Кокс	11,2	1,8	5	50	23,0	4,0	-	-	-	-

Для оценки влияния газовой фазы на восстановление марганца из оксидов марганцевых руд Селезеньского месторождения были проведены исследования бесконтактного восстановления марганцевой руды в печи Таммана при температуре 1073 К. Выбор температуры обусловлен температурой разложения углеводородов и температурой размягчения руд. Для оценки фазового состава руды охлажденные образцы марганцевой руды подвергали рентгенофазовому анализу на установке ДРОН-2 в железном излучении.

На рисунке 1 приведены фрагменты участков дериватограмм исследуемых образцов руды при $T = 1073$ К.

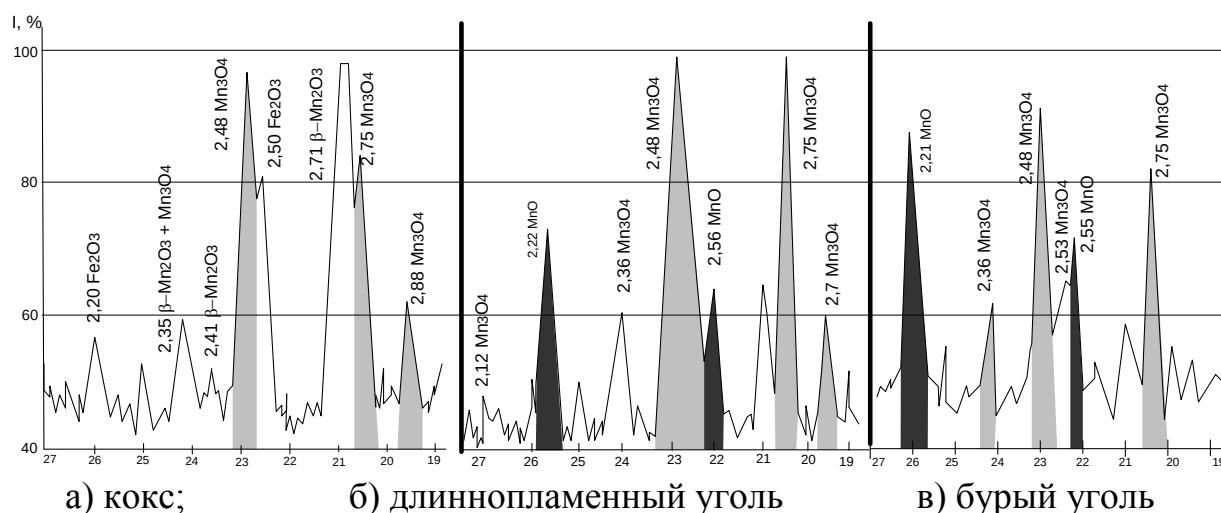


Рисунок 1 – Участки рентгенофазового анализа образцов руды после бесконтактного восстановления

На дериватограммах присутствуют дифракционные отражения гаусманита (Mn_3O_4) и манганозита (MnO). Согласно ранее проведенным термogrавиметрическим исследованиям в руде Селезеньского месторождения [2] термическая диссоциация курнакита (Mn_2O_3) до гаусманита (Mn_3O_4) происходит при $T = 1273 \text{ K}$, а термическая диссоциация гаусманита с образованием манганозита (MnO) возможна лишь при $T = 1995 \text{ K}$ [3]. Таким образом, можно считать, что образованию гаусманита и манганозита в образцах при бесконтактном восстановлении при температуре 1073 K способствует не термическая диссоциация минералов, а горячие восстановительные газы.

Следует отметить, что при использовании кокса, манганозита в образце руды не обнаружено (рисунок 1 а), в отличие от образцов, когда в эксперименте участвовали угли.

Проведенные исследования подтверждают, что использование углей без предварительной термической обработки положительно влияют на восстановительный процесс оксидов из марганцевых руд. Установлено, что благодаря летучим соединениям, выделяемых при нагреве ископаемых углей процесс твердофазного восстановления высших оксидов марганца смещается в зону более низких температур, тем самым ускоряя и интенсифицируя процессы восстановления.

Библиографический список:

1. Исследование механизма бесконтактного переноса углерода при восстановлении марганцевых руд / Н.Е. Хисамутдинов и [др.]. // Изв. вузов. ЧМ. – 2008. – № 1. – С. 35 – 39.
2. Романенко Ю.Е., Рожихина И.Д. Оценка металлургических характеристик марганцевых руд / Труды Всероссийской научно-практической конференции «Металлургия: технологии, управление, инновации, качество», Новокузнецк, 2010. – С. 77 – 83.
3. Куликов И.С. Термодинамика оксидов: Справочник / И.С. Куликов. – М.:

УДК 669.18

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СТАЛИ БАРИЕМ И СТРОНЦИЕМ, ВХОДЯЩИМИ В СОСТАВ ПРИРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**ДМИТРИЕНКО В.И., РОЖИХИНА И.Д., НОХРИНА О.И.,
ПЛАТОНОВ М.А., ДМИТРИЕНКО А.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк
Юргинский технологический институт (филиал)
Томского политехнического университета,
г. Юрга*

Важным условием развития технологий производства металла является применение относительно дешевых материалов для модифицирования, которые позволяют целенаправленно управлять физико-химическим состоянием металлического расплава и соответственно свойствами металлопродукции. Одним из таких перспективных материалов являются барийстронцийсодержащие карбонатные руды, месторождение которых разрабатывается на северо-востоке Иркутской области в России. Использование их для модифицирующей обработки стали позволит получать металлопродукцию с улучшенными эксплуатационными характеристиками, что является весьма актуальной задачей. Комплексные карбонатные руды, содержащие барий и стронций, представлены барийстронциевым модификатором.

Результаты рентгенофазового анализа при $T = 293$ К показали, что основными соединениями входящие в состав барийстронциевого модификатора являются баритокальцит $BaCa(CO_3)_2$, кальцит $CaCO_3$, кальциостронцианит $CaSr(CO_3)_2$, доломит $MgCO_3$ и сидерит $FeCO_3$.

По результатам дифференциально-термического анализа барийстронциевого модификатора выяснили, что при нагреве происходит: удаление влаги, фазовые превращения в примесях, диссоциация доломита, кальцита, баритокальцита и кальциостронцианита. Поэтому для процессов обработки стали представляет интерес изучение поведения именно оксидных соединений бария и стронция. На разных этапах модифицирования стали в качестве восстановителей могут рассматриваться алюминий, кремний и углерод. Для определения условий восстановления бария и стронция из оксидов использовались методы термодинамического моделирования, реализованном в программном комплексе «Терра». Результаты теоретических расчетов показали, что в качестве восстановителя при использовании оксидных барийстронций-

содержащих материалов для обработки стали предпочтительно использовать алюминий, так как степень восстановления бария и стронция из оксидов алюминием достигает соответственно 70 и 50 %; температура в интервале 1873 – 2073 К оказывает незначительное влияние на степень восстановления этих элементов.

Для изучения особенностей взаимодействия шлаковых расплавов, содержащих соединения бария и стронция, с металлом был проведен ряд лабораторных экспериментов. Для этого в печи сопротивления после расплавления металлошихты и нагрева расплава до температуры 1873 К с помощью кварцевой трубки делали присадки кремния и шлакообразующего компонента в состав которого входили материалы, содержащие барий и стронций. Спектральным методом анализа химического состава не было обнаружено в образцах присутствие бария и стронция, вероятно из-за низкого их содержания. Для определения наличия в образцах бария и стронция использовали метод сканирующей электронной микроскопии. Результаты проведенных металлографических исследований показали, что обработка металла соединениями бария и стронция на формирование неметаллических включений влияния не оказывает. В то же время на структурообразование присутствие соединений бария и стронция оказывает заметное воздействие. Образцы, обработанные шлакообразующими смесями, содержащими барий и стронций, имели более мелкую структуру, чем образец, при выплавке которого в состав шлакообразующей смеси не вводили соединения бария и стронция.

По результатам термодинамического моделирования и проведенных экспериментальных исследований была разработана технология модифицирования стали барийстронциевым модификатором. Промышленные исследования технологии модифицирования стали марок 35ХГСЛ, 30ХГСФЛ, 12НД2ФЛ барийстронциевым модификатором осуществлялись на нескольких сериях плавов в дуговой сталеплавильной печи. Результаты проведенных механических испытаний показали повышение на 20 – 50 % служебных свойств стали, после обработки её барийстронциевым модификатором в дуговой сталеплавильной печи и в ковше на выпуске, характеризуемой значениями пределов текучести, прочности и ударной вязкости при положительных и отрицательных температурах.

По результатам полученных при реализации технологии модифицирования стали в дуговой сталеплавильной печи, была предложена схема модифицирования стали выплавленной по одношлаковой технологии присадками барийстронциевого модификатора на металл в установке «печь – ковш» (рисунк 1).

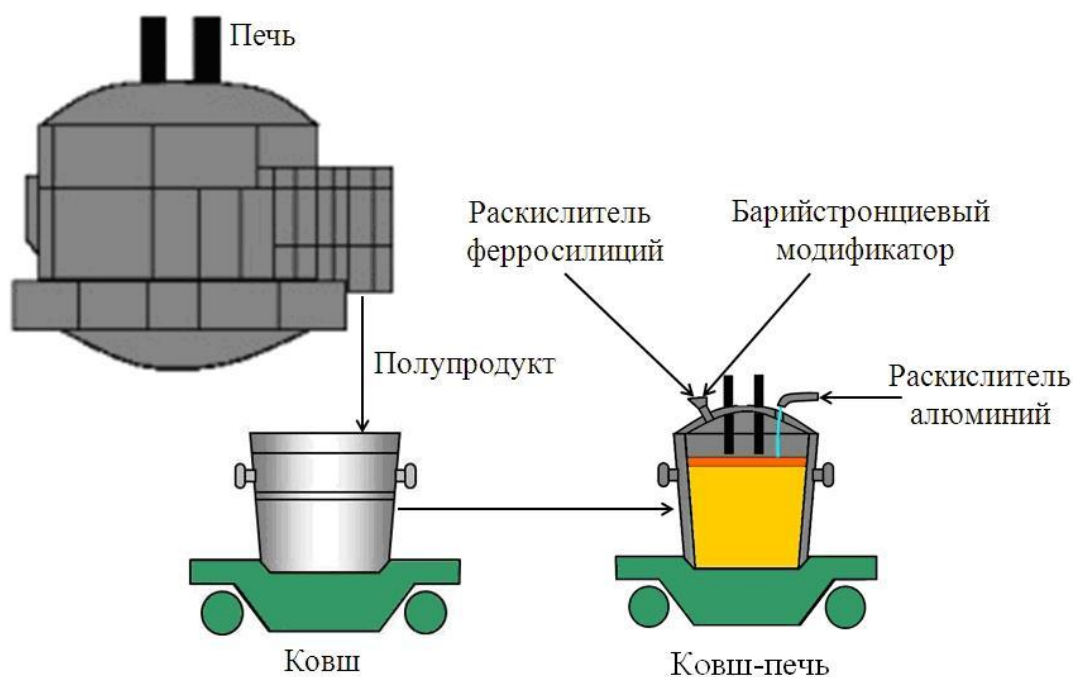


Рисунок 1 – Технологическая схема обработки стали барийстронциевым модификатором на установке «ковш-печь»

УДК 669.054:669.243

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ

Кичигина О.Ю., Нохрина О.И., Дегтярь В.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Вовлечение в производство марганцевых руд отечественных месторождений возможно лишь при условии комплексного подхода к решению проблемы марганца, когда технически и экономически обоснованы все звенья одной цепочки – разведка месторождений, добыча и обогащение марганцевых руд, последующая их переработка и потребление.

Значительный интерес представляет изучение возможности комплексного обогащения марганцевого сырья, содержащего оксиды цветных металлов. К таким материалам относятся железомарганцевые конкреции Финского залива и Тихого океана, а также руды новых месторождений, находящихся на границе Алтайского края и Кемеровской области, химический состав которых представлен в таблице 1. Эти руды не могут быть использованы при выплавке стандартных сплавов без предварительного обогащения, так как в рудах участка 1 содержание марганца не превышает 20 %, а руды участка 2 имеют повышенное содержание фосфора. Кроме того, в этих рудах повы-

шенное содержание цветных металлов – никеля и кобальта [1] и для их обогащения целесообразно использовать гидрометаллургические способы, в частности, выщелачивание.

Таблица 1 – Химический состав марганцевых руд

Наименование	Химический состав, % по массе											
	Mn	Fe _(общ)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P	S	CaO	MgO	BaO	Ni	Co	Cu
Участок 1	20,4	2,0	50,6	6,96	0,039	<0,1	0,75	0,77	0,1	0,5	3,0	0,7
Участок 2	48,8	3,0	17,5	5,90	0,225	<0,1	-	0,68	0,07	0,5	3,0	0,2

Результаты термодинамического анализа и лабораторных экспериментов показали, что при использовании в качестве растворителя раствора FeCl₂ наряду с марганцем извлекаются в раствор никель, кобальт, медь. Высокое извлечение никеля и кобальта, по-видимому, можно объяснить взаимным каталитическим эффектом при автоклавном выщелачивании (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели извлечения марганца, кобальта, никеля и меди

Содержание элементов в осадке, %					Извлечение элементов по анализу сухого осадка, %			
Mn	MnO ₂	Co	Ni	Cu	Mn	Co	Ni	Cu
0,015	следы	0,0073	0,112	0,085	99,17	97,76	74,79	68,97
0,014	следы	0,0020	0,080	0,075	99,19	99,15	82,77	73,80
0,015	следы	0,0020	0,130	0,105	99,14	99,25	68,94	59,31
0,013	следы	0,0020	0,125	0,113	99,25	99,28	71,38	58,73

По результатам проведенных исследований по обогащению марганцевого сырья, содержащего оксиды цветных металлов, была разработана схема комплексного обогащения, позволяющая эффективно извлекать марганец, никель, кобальт и медь.

По разработанной схеме обогащали различные марганецсодержащие материалы. При этом были получены следующие продукты:

- концентрат химического обогащения, содержащий 55 – 64 % Mn, 0,1 – 2,31 % SiO₂, < 0,55 % Fe и 0,005 % – следы P. Содержание кремнезема в нем в 4,7 – 110 раз, а фосфора в 36 раз меньше, чем в оксидном марганцевом концентрате первого сорта;

- концентрат с содержанием 44 – 46 % никеля, 2,0 – 3,2 % марганца, 1,4 – 2,0 % железа и 0,5 % кобальта;

- концентрат с содержанием 40 – 60 % железа.

Полученные материалы целесообразно использовать в металлургии для обработки стали на агрегате печь-ковш. Сквозное извлечение марганца при применении технологии прямого легирования стали полученными концентратами химического обогащения составило 90 – 95 %, что на 20 – 35 % превышает этот показатель при использовании традиционной технологии раскисления и легирования стали [2, 3].

Концентрат, содержащий никель, также можно использовать для обработки стали. Предварительно расчетным и экспериментальным путем были определены технологические параметры восстановления никеля из концентрата при выплавке стали в дуговых электропечах.

Лабораторные исследования кинетики восстановления никеля из оксида в интервале температур 973 – 1473 К проводились методом непрерывного взвешивания по известной методике [4]. В качестве восстановителя использовали твердый углерод.

Экспериментально установлено, что при температурах 1173 – 1473 К никель из оксида практически полностью восстанавливается в течение 15 – 20 мин.

В ходе лабораторных исследований был экспериментально определен и опробован способ ввода оксида никеля в дуговую электропечь. Сталь выплавляли в лабораторной дуговой электропечи. Из никелевого концентрата, полученного при обогащении полиметаллических марганцевых руд, фракцией менее 0,5 мм и коксовой мелочи, были изготовлены окатыши диаметром 20 – 30 мм. Окатыши загружали в печь по двум вариантам: I – в завалку; II – в восстановительный период на «зеркало» металла перед наведением шлака.

Расчет количества окатышей вели на содержание никеля в стали, равным 1 %.

Извлечение никеля из концентрата составило по I варианту – 92 – 95 %, по II варианту – 75 – 78 %.

Таким образом, установлено, что для легирования стали никелем в электропечи, возможно, использовать его концентрат, причем извлечение никеля из концентрата при его восстановлении в процессе выплавки стали можно достичь уровня 92 – 95 %, если концентрат в смеси с восстановителем вводить в завалку в виде окатышей или брикетов.

Библиографический список

1. Оценка металлургической ценности марганцевых руд участков Сугул, Суннгай, Чумай: отчет о НИР / Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ); рук. О.И. Нохрина; отв. испол. И.Д. Рожихина. – Новокузнецк, 2007. – 17 с.
2. Нохрина О.И. Прямое легирование стали марганцем с использованием концентратов химического обогащения // Тез. докл. и матер. IX Международной конференции по проблемам металлургии. Челябинск, 1995. – С. 41 – 42.
3. Нохрина О.И. Разработка теории и разработка технологии раскисления и легирования стали оксидными марганецсодержащими материалами. Новокузнецк: СибГИУ, 2002. – 154 с.
4. ГОСТ 17212 – 84 «Руды железные, агломераты и окатыши». Введен в действие 19 декабря 1984 г. – М.: Изд-во стандартов, 1985 г. – 6 с.

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КВАРЦИТОВ СУНГАЙСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ

РОЖИХИНА И.Д., ЛАЗАРЕВСКИЙ П.П., ЛУБЯНОЙ Д.Д.,
МЕЛЬНИЧЕНКО С.А., ТАТАРКИНА А.Г.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Несмотря на значительное распространение кремнезема в природе проблема обнаружения высококачественного кремнеземсодержащего рудного сырья весьма актуальна. Ферросплавное производство с каждым годом увеличивают спрос на кремнеземсодержащие материалы, постоянно наращивая объемы потребления кварцита, что влечет за собой потребность в расширении минерально-сырьевой базы. На сегодняшний день активно ведется поиск сырья, которое удовлетворяло бы по химическому составу, имело значительные запасы, доступность в разработке и относительную дешевизну.

По оценке «Запсибгеолсъемка» таким сырьем являются кварциты в центральном Салаире имеющие широкое распространение. Одним из наиболее перспективных является Сунгайское рудопроявление. По геологическим и геофизическим данным, выделены 4 крупные залежи кварцитов. В пределах данной площади исследованы 3 рудопроявления: Сунгайское-I, Сунгайское-II и Каменная Падь. Прогнозные ресурсы кварцитов с содержанием $\text{SiO}_2 > 98 \%$ оценены в 300 млн. т.

Для рационального использования кремнеземсодержащего рудного сырья и достижения высоких технико-экономических показателей производства кремнистых сплавов из кварцитов Сунгайской площади необходимо изучить их металлургическую пригодность. В лабораторных условиях проведена серия опытных плавов ферросилиция. Схема рудовосстановительной печи приведена на рисунке 1. Для сравнения использовали кварцит Антоновский месторождения Сопка-248. В качестве восстановителя применяли кокс производства ОАО «Алтай-кокс». Химический состав кварцитов приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав кварцитов

Наименование кварцита	Компонентный состав, %						
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	P_2O_5
1. Сунгайский	99,18	0,36	0,76	<0,03	<0,05	0,01	<0,01
2. Антоновский	98,54	0,64	0,20	0,14	<0,05	0,02	<0,01

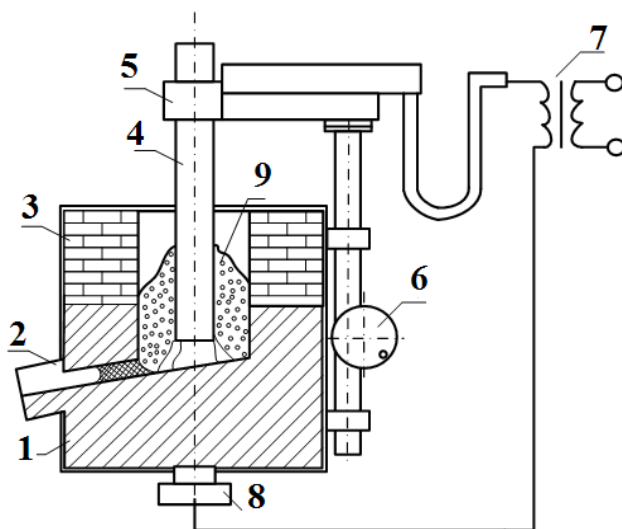
Предварительно проведен расчет материального баланса для выплавки ферросилиция марки ФС45 (таблица 2). Расчет материального баланса на

100 кг кварцита. Плавку проводили в непрерывном режиме с периодическим выпуском металла.

Таблица 2 – Результаты расчета материального баланса

Приход	кг	Расход	кг
Кварцит	100	Металл	97,9 – 99,1
Кокс	45,1 – 47,3	Шлак	2,9 – 2,3
Стальная стружка	55,7 – 56,9	Газы	95,2 – 98,7
		Пыль	4,8 – 4,1
Итого	200,8 – 204,2	Итого	200,8

Выпуск металла из печи осуществляли примерно через 1 час после загрузки первой порции шиховых материалов. Всего было сделано восемь выпусков. Первые четыре выпуска плавку проводили на кварците месторождения Сопка-248. Последующие четыре выпуска на Сунгайском кварците.



1 – ванна печи; 2 – летка; 3 – колошник печи, футерованный шамотным кирпичом; 4 – подвижный электрод; 5 – электрододержатель; 6 – механизм перемещения электрода; 7 – трансформатор; 8 – подовый электрод; 9 – шихта

Рисунок 1 – Схема рудовосстановительной печи мощностью 100 кВА

При использовании Антоновского кварцита режим и технологический ход печи был нормальным и характеризовался устойчивой посадкой электрода в шихте. Токовая нагрузка на электроде стабильная. Однако на колошнике наблюдалось спекание шихты и «свищи». Сход шихты вокруг электродов затруднен, что вызвало необходимость опиковывать колошник. Выпуск металла проводили без затруднений. При замене Антоновского кварцита на Сунгайский наблюдалось изменение на колошнике. Колошник печи имел более рыхлую поверхность, свободно прошиваемую деревянной рейкой, с равномерным пламявыделением. Выпуск металла проводили без затрудне-

ний. Кратность шлака 0,02 – 0,03. Химический состав металла всех выпусков приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав металла

Номер выпуска	Химический состав, %						
	Si	Al	Ca	Cr	Mn	Ti	P
Плавка на Антоновском кварците месторождение Сопка-248							
1	43,7	0,63	<0,05	0,19	0,56	0,073	0,027
2	43,9	0,62	<0,05	0,19	0,52	0,085	0,027
3	43,3	0,70	<0,05	0,21	0,35	0,077	0,024
4	43,4	0,75	<0,05	0,16	0,65	0,070	0,025
Плавка на кварците Сунгайского рудопроявления							
5	44,6	0,35	<0,05	0,18	0,38	0,070	0,024
6	44,5	0,44	<0,05	0,19	0,29	0,065	0,024
7	44,0	0,45	<0,05	0,21	0,28	0,069	0,022
8	44,3	0,38	<0,05	0,16	0,34	0,069	0,025

Результаты химического анализа показали, что полученный сплав соответствует химическому составу ферросилицию марки ФС45 в соответствии с ГОСТ 1415-93. В результате крупно-лабораторных исследований установлена возможность применения кварцитов Сунгайского рудопроявления для выплавки стандартных сплавов ферросилиция.

УДК 669.18.046.586.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВАНАДИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ СТАЛИ КОНВЕРТЕРНЫМ ВАНАДИЕВЫМ ШЛАКОМ

ГОЛОДОВА М.А., РОЖИХИНА И.Д., ДМИТРИЕНКО В.И., НОХРИНА О.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

К числу наиболее востребованных легирующих элементов, введение которых позволяет значительно повысить уровень эксплуатационных свойств металла, относится ванадий. Основным легирующим материалом при производстве ванадийсодержащих сталей является феррованадий, имеющий высокую стоимость. В связи с этим, для дальнейшего расширения производства и обеспечения конкурентоспособности ванадийсодержащих сталей особую значимость имеет применение способа легирования, основанного на обработке металла окисными ванадийсодержащими материалами, в том числе конвертерным ванадиевым шлаком, при обеспечении условий восстановления ванадия из этих материалов.

Перспективным легирующим материалом при обработке стали на ус-

тановках ковш – печь является конвертерный ванадиевый шлак. Однако в существующих технологиях обработки стали ванадиевым шлаком применяются имеющие высокую стоимость алюминий, кремний, кальций, поэтому актуальной задачей является разработка ресурсосберегающей технологии обработки стали конвертерным ванадиевым шлаком при совместном использовании в качестве восстановителей углерода коксика, имеющего низкую стоимость, и кремния.

Теоретические исследования процессов восстановления ванадия из оксидных ванадийсодержащих материалов и обработки стали конвертерным ванадиевым шлаком осуществлялись методами термодинамического моделирования с использованием готовых программных продуктов – комплексов «Астра» и «Терра».

Полученные результаты термодинамического моделирования позволили определить оптимальные соотношения между удельными расходами восстановителей, при которых происходит максимальное восстановление ванадия из конвертерного ванадиевого шлака при ограничении восстановления титана и марганца.

Изучение влияния содержания углерода в стали на выпуске и расхода конвертерного ванадиевого шлака на процесс восстановления компонентов шлака показало, что углерод стали участвует в восстановлении ванадия. Согласно расчетным данным при расходе конвертерного шлака до 10 кг/т стали достигается содержание ванадия в металле не менее 0,04 % для низкоуглеродистых сталей, для средне- и высокоуглеродистой стали этот показатель выше. Исследования влияния на процесс расходов коксика и ферросилиция показало, что увеличение расхода коксика не приводит к значительному увеличению содержания ванадия в стали, но увеличивает содержание углерода. Ферросилиций при расходе до 1 кг/т идет на довосстановление конвертерного ванадиевого шлака, как для низкоуглеродистой, так и для высокоуглеродистой сталей.

Анализ полученных данных показал, что процесс легирования ванадием при внепечной обработке стали ванадиевым шлаком реализуем в широком диапазоне требуемых концентраций ванадия в металле.

Проведенные лабораторные эксперименты подтвердили результаты теоретических исследований процессов восстановления ванадия из оксидных систем и обработки стали конвертерным ванадиевым шлаком.

Проведенные промышленные испытания на двух 100-тонных печах в ЭСПЦ ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» при выплавке среднеуглеродистой стали, содержащей не менее 0,03 % V, показали, что содержание оксидов ванадия в ковшовом шлаке и ванадия в металле близко к расчетным. Качество стали по структуре и неметаллическим включениям соответствует техническим условиям. Обработка металла на У КП обеспечила полное извлечение ванадия. Сквозной коэффициент извлечения ванадия, усредненный по всем плавкам, составил 100 %.

На основании результатов проведенных исследований предложена

технологическая схема обработки стали конвертерным ванадиевым шлаком, состоящая из двух этапов (рисунок 1). На первом этапе на выпуске в ковш подаются конвертерный ванадиевый шлак и шлакообразующие, происходит расплавление шлака и восстановление ванадия углеродом металла на выпуске, на втором – довосстановление ванадия углеродом коксика и кремнием ферросилиция на установке ковш – печь.

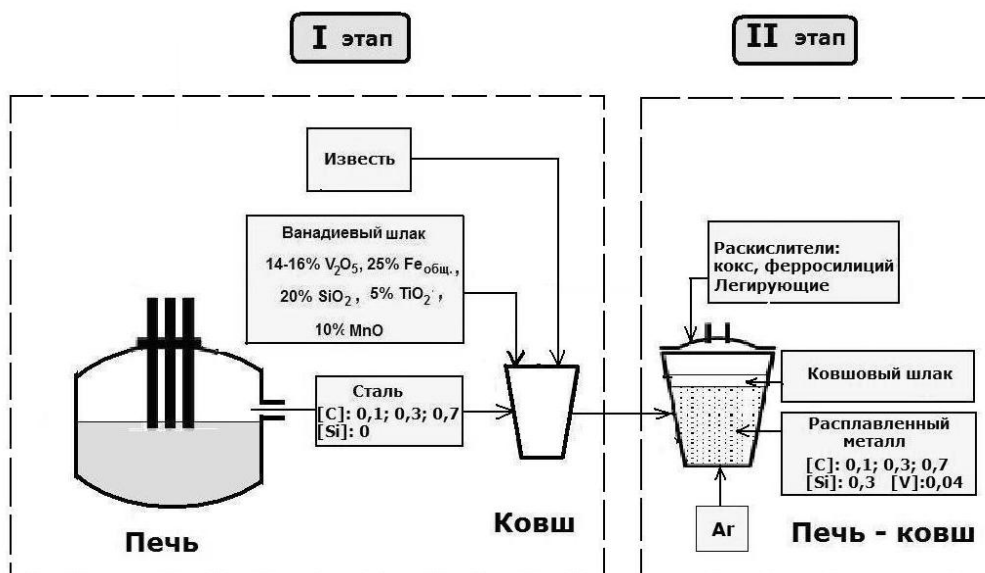


Рисунок 1 – Технологическая схема обработки стали с использованием конвертерного ванадиевого шлака

УДК 661.665

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НАНОКАРБИДА ХРОМА

Ноздрин И.В., Ширяева Л.С., Руднева В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

В современных технике и технологиях для изготовления защитных покрытий металлов и керметов, легирования безвольфрамовых твёрдых сплавов широко востребован высший по содержанию углерода карбид Cr_3C_2 . Это обусловлено такими его свойствами как износо- и коррозионностойкость, твёрдость, химическая инертность. Предложенная профессором Галевским Г.В. в 80-х годах 20 столетия технология плазменного синтеза карбида хрома основана на карботермическом восстановлении оксида хрома в газовой фазе и реализуется с использованием трёхструйного прямоочного плазменного реактора мощностью до 50 кВт и азота в качестве плазмообразующего газа. Реализация предлагаемой плазмометаллургической техноло-

гии в полной мере делает её экологически безопасной, обеспечивающей получение нанокарбида хрома, близкого по составу к стехиометрическому, в виде нанопорошков с размером частиц 30 – 70 нм и возможность выделения в товарном виде нанодисперсного пиролитического углерода и продукта улавливания цианистого водорода – технического цианида натрия. Наряду с достоинствами в данной технологии имеются такие недостатки, как техническая и экономическая нецелесообразность использования в качестве карбидизатора пропан-бутановой смеси, требующей для переработки сложной по составу и генерации азотно-аммиачно-водородной плазмы, а также лабораторный уровень реализации.

Целью работы является создание научных и технологических основ плазмометаллургического синтеза нанокарбида хрома и его физико-химическая аттестация, для достижения которой ставились и решались следующие задачи: 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 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.

На основе результатов моделирования прогнозированы технологические показатели плазмометаллургического производства карбида хрома. 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 градусов 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.

Продуктом плазменного синтеза является тройное соединение – карбонитрид хрома, кристаллическая структура которого нестабильна и при низкотемпературном отжиге (1073 – 1273 К) в инертной среде или азоте в присутствии свободного углерода перестраивается в карбидную предельного состава Cr_3C_2 .

Технологические исследования проводились с привлечением метода планируемого эксперимента, что позволило найти зависимости содержания в

продуктах синтеза близкого по составу к карбиду карбонитрида хрома и сопутствующих ему примесей от определяющих факторов.

Оптимальные значения технологических факторов и основные характеристики карбонитрида хрома соответствуют следующим: крупность порошка хрома, мкм – 10; производительность по хрому, кг/ч – 3,11; количество карбидизатора, % от стехиометрического – 120-140; начальная температура плазменного потока, К – н.м. 5400; температура закалки, К – 2000÷2200; выход карбида хрома, % масс. – 92; производительность, кг/ч – 3,42; интенсивность, кг/ч·м³ – 2011 (что в 30–50 раз превышает уровень интенсивности традиционных металлургических производств); удельная поверхность, м²/кг – 32000-37000; размер частиц, нм – 30–35; форма частиц – сферическая.

Выводы. На основании проведенных модельно-математических и технологических исследований определены оптимальные значения параметров синтеза нанокарбида хрома и его физико-химические характеристики. Установлено, что при карбидизации порошка хрома метаном в условиях плазменного потока азота в области температур 5400 – 2000 К может быть получен нанокарбонитрид хрома состава $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$ с нестабильной кристаллической структурой, перестраивающейся в карбидную при обжиге в инертной среде или азоте при температуре 1073 – 1273 К. Исследованы фазовый и химический составы, дисперсность, морфология и окисленность продуктов синтеза. Определены такие основные технико-экономические показатели предлагаемой технологии, как производительность, интенсивность, себестоимость, отпускная цена. При отпускной цене 220 \$/кг он может быть конкурентоспособен на мировом рынке наноматериалов, на котором на сегодняшний день ведущими зарубежными производителями нанопорошков карбидов установлен диапазон цен в пределах 400–2000 \$/кг.

УДК 661.665

КЭП НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ С НАНО– И МИКРОПОРОШКАМИ КАРБОНИТРИДА И КАРБИДА ХРОМА

Ноздрин И.В., Галевский Г.В., Ширяева Л.С., Руднева В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Композиционные электрохимические покрытия (КЭП) на основе никеля характеризуются наибольшим объемом использования в различных отраслях производства, составляющим 75 % от общего объема гальванически осаждаемых металлов. Основными функциями никелевых покрытий являются защита от коррозии и механических повреждений, улучшение прочностных характеристик и износостойкости изделий, особенно эксплуатируемых в условиях сухого трения, решение определённых декоративно–эстетических задач.

В технологии КЭП кристаллизация металла (никеля, хрома, железа, меди и др.) осуществляется из электролитов-суспензий, содержащих в качестве добавки так называемую упрочняющую фазу (наполнитель или модификатор), представляющую собой, как правило, вещество в порошкообразном состоянии, частицы которого включаются в формирующуюся на поверхности изделия металлическую матрицу. Применение в технологии КЭП нанопорошков различных веществ способствует формированию покрытий с однородной мелкозернистой структурой, высоким уровнем физико-механических свойств и позволяет создавать композиционные материалы нового назначения. В связи с этим это направление становится приоритетным в исследовании и технологии КЭП.

Целью настоящей работы является изучение особенностей формирования композиционных покрытий на основе никеля, содержащих в качестве упрочняющей фазы нанопорошок карбонитрида хрома $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$, нано- и микропорошки карбида хрома Cr_3C_2 .

Для модифицирования никелевой матрицы использовался нанопорошок карбонитрида хрома, полученный карбидизацией порошка металлического хрома марки ПХ-1М природным газом с содержанием метана до 94 % об. в потоке азотной плазмы с начальной температурой 5400 К и закалкой при температуре 2800 К, обозначаемый в дальнейшем как НП $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$, а также порошки близкого к нему по химическому составу карбида хрома Cr_3C_2 (нанопорошок карбида хрома, полученный отжигом в аргоне карбонитрида хрома при температуре 1273 К (НП Cr_3C_2); особо тонкий микропорошок карбида хрома, полученный отжигом в аргоне, карбонитрида хрома при температуре 1373 К (МП Cr_3C_2 (1)); микропорошок карбида хрома Cr_3C_2 , полученный измельчением в мельнице с твердосплавными шарами и футеровкой порошка карбида хрома стандартной гранулометрии (-63 мкм) в течение 80 часов (МП Cr_3C_2 (2))).

Исследовалось влияние катодной плотности тока и концентрации порошков в электролите на содержание упрочняющей фазы в покрытиях и их микротвердость. Повышение катодной плотности тока в пределах от 0,1 до 1,0 кА/м^2 для нанопорошков и 0,7 кА/м^2 для микропорошков приводит к увеличению содержания упрочняющей фазы в покрытии: для НП – $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$ с 0,42 до 0,81, НП – Cr_3C_2 с 0,46 до 0,87, МП – Cr_3C_2 (1) с 0,51 до 1,03 % мас. В то же время четко прослеживается тенденция к увеличению содержания упрочняющей фазы от её крупности: при катодной плотности тока 1,0 кА/м^2 содержание упрочняющей фазы в покрытии составляет для НП – $\text{Cr}_3(\text{C}_{0,8}\text{N}_{0,2})_2$ 0,81, НП – Cr_3C_2 0,87, МП – Cr_3C_2 (1) 0,93 и МП – Cr_3C_2 (2) 1,03 % мас. В присутствии упрочняющей нанодисперсной фазы верхний предел рабочей плотности тока электролита составляет 1,0 кА/м^2 , что выше, чем для получения никелевых покрытий в данном электролите (0,5 кА/м^2). При катодной плотности тока 1,2 кА/м^2 покрытия образуются темного цвета, хрупкие и шероховатые, легко отслаивающиеся от основы. Это объясняется увеличением pH в прикатодном слое, обусловленным выделением на катоде

водорода и, как следствие этого, образованием и соосаждением с никелем его гидроксидов.

Исследование влияния концентрации порошков в электролите проводилось при рН электролита 5,0, температуре 323 К и катодной плотности тока 1,0 кА/м² для нанопорошков и 0,7 кА/м² для микропорошков. С повышением концентрации нанопорошков в электролите-суспензии до 5 – 10 кг/м³ содержание упрочняющей фазы в КЭП также растет, в дальнейшем при концентрации нанопорошков 15 – 30 кг/м³ практически не меняется, а в области концентраций 45 – 80 кг/м³ несколько снижается.

Выводы: 1. Установлены следующие пределы насыщения никелевой матрицы КЭП упрочняющей фазой, достигаемые при разных концентрациях порошков в электролите: для НП – Cr₃(C_{0,8}N_{0,2})₂ – (0,79 ÷ 0,81) % мас. при концентрации 5 – 10 кг/м³; НП – Cr₃C₂ – (0,92 ÷ 0,94) % мас. при 10 – 15 кг/м³; МП – Cr₃C₂ (1) – (1,41 ÷ 1,42) % мас. при 45 – 60 кг/м³; МП – Cr₃C₂ (2) – (2,97 ÷ 2,99) % мас. при 80 – 100 кг/м³. При этом зависимость содержания упрочняющей фазы в покрытии a от размера частиц порошков $d_{\text{ч}}$ описывается уравнением вида $a = 0,759d_{\text{ч}} + 0,87$.

2. Микротвердость КЭП определяется содержанием в них упрочняющей фазы и размерами её частиц. Микротвердость у КЭП Ni – НП Cr₃(C_{0,8}N_{0,2})₂ составляет 4,4 – 4,5 ГПа, что в 2,2 раза выше, чем у никелевой матрицы, в 1,23 раза выше, чем у КЭП Ni – НП Cr₃C₂, в 1,41 раза выше, чем у КЭП Ni – МП Cr₃C₂ (1), в 1,45 раза выше, чем у КЭП Ni – МП Cr₃C₂ (2). Для КЭП Ni – НП Cr₃(C_{0,8}N_{0,2})₂ зависимость микротвердости H от содержания в покрытии карбонитрида описывается уравнением вида $H = 2,973a + 2,051$.

3. Оптимальными режимами осаждения КЭП Ni – НП Cr₃(C_{0,8}N_{0,2})₂ являются: катодная плотность тока 1,0 кА/м², концентрация нанопорошка карбонитрида хрома в электролите 5 – 10 кг/м³, рН 5,0 – 5,5 и температура 323 К.

УДК 661.665

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОГО СИНТЕЗА КАРБИДА ТИТАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛАНИРУЕМОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

ПУЛОТОВА З.М., ГАЛЕВСКИЙ Г.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Карбид титана TiC – изнoso- и коррозионностойкий, твердый, химически инертный материал, востребован в различных областях для изготовления твердых сплавов, металлокерамического инструмента, жаропрочных изделий, защитных покрытий металлов. Новые перспективы применения карбида титана открываются при использовании его в наносостоянии: поверхностное

модифицирование материалов, модифицирование сплавов.

Целью настоящей работы является исследование плазменного синтеза нанопорошка карбида титана в трехструйном плазменном реакторе мощностью 150 кВт с использованием в качестве плазмообразующего газа азота, титансодержащего сырья диоксида титана (вариант I) и порошка титана (вариант II), в качестве восстановителя и карбидизатора – метан (природный газ).

Для исследуемых технологических вариантов получены математические модели, описывающие зависимость содержания карбида титана в продуктах синтеза от основных параметров:

вариант I: $y_1[\text{TiC}] = 17,3211 + 0,0105 \cdot T_0 - 0,0156 \cdot T_{\text{зак}} + 0,1859 \cdot C - 3,432 \cdot [\text{H}_2] - 0,4078 \cdot Q + 0,000004562 \cdot T_0 \cdot T_{\text{зак}} + 0,000782 \cdot T_0 \cdot [\text{H}_2] - 0,0000567 \cdot T_{\text{зак}} \cdot C - 0,000435 \cdot T_{\text{зак}} \cdot [\text{H}_2] + 0,0001353 \cdot T_{\text{зак}} \cdot Q$;

$y_2[C_{\text{своб}}] = -11,865 + 0,01667 \cdot T_0 + 0,08736 \cdot C + 1,4624[\text{H}_2] + 0,09257 \cdot Q - 0,00000576 \cdot T_0 \cdot T_{\text{зак}} - 0,001273 \cdot T_{\text{зак}} - 0,0000438 \cdot T_0 \cdot C - 0,000294 \cdot T_0 \cdot [\text{H}_2] + 0,0000364 \cdot T_{\text{зак}} \cdot C - 0,000053 \cdot T_{\text{зак}} \cdot Q + 0,020853 \cdot [\text{H}_2] \cdot Q$

вариант II: $y_1[\text{TiC}] = -182,277 + 0,05187 \cdot T_0 + 0,000927 \cdot T_{\text{зак}} + 0,9428 \cdot C - 0,4464 \cdot [\text{H}_2] - 0,1208 \cdot Q - 0,0001878 \cdot T_0 \cdot C$;

$y_2[C_{\text{своб}}] = -13,162 + 0,01157 \cdot T_{\text{зак}} + 0,01588 \cdot C - 0,1244 \cdot [\text{H}_2] + 0,00013 \cdot Q - 0,000001162 \cdot T_0 \cdot T_{\text{зак}} + 0,00279 \cdot T_0 + 0,000057 \cdot T_{\text{зак}} \cdot [\text{H}_2] + 0,005707 \cdot [\text{H}_2] \cdot Q$.

где T_0 – начальная температура плазменного потока, К;

$T_{\text{зак}}$ – температура закалки продуктов синтеза, К;

C – количество углеводорода от стехиометрически необходимого для получения карбида титана, %;

$[\text{H}_2]$ – концентрации водорода в плазмообразующем газе, % об;

Q – количество атомарного азота в плазмообразующем газе, %

На рисунке 1 показана зависимость содержания карбида титана в продуктах синтеза от количества углеводорода (C , % от стехиометрически необходимого) и от начальной температуры плазменного потока, при постоянной температуре закалки ($T_{\text{зак}} = 2800$ К).

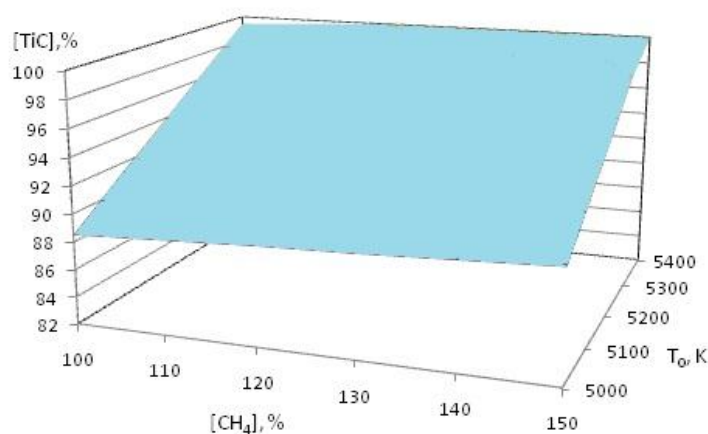


Рисунок 1 – Содержание карбида титана в продуктах синтеза (вариант I)

На рисунке 2 показана зависимость содержания карбида титана в продуктах синтеза от количества углеводорода (С, % от стехиометрически необходимого) и от температуры закалки, при постоянной начальной температуре плазменного потока ($T_0=5400$ К).

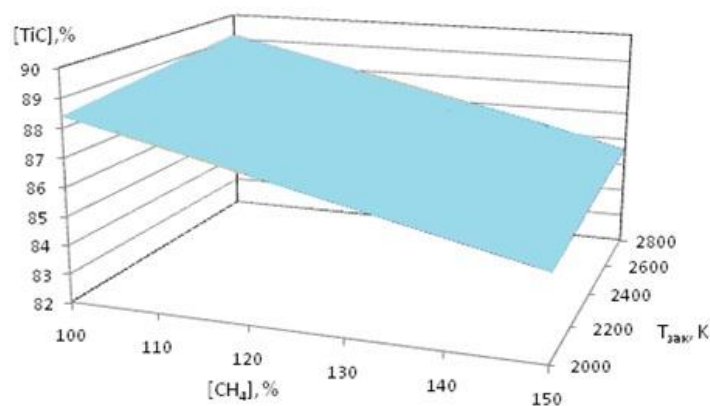


Рисунок 2 – Содержание карбида титана в продуктах синтеза (вариант II)

Продукты синтеза представляют собой порошки цвета от серого до черного с удельной поверхностью для варианта I – 29000 – 32000 м²/кг, для варианта II – 33000 – 35000 м²/кг. Оптимальное сочетание технологических факторов для получения материалов с максимальным содержанием карбида титана соответствует следующим условиям: начальной температуры плазмы 5400 К, стехиометрическом соотношении реагентов, содержании 25 % об. водорода в плазмообразующем газе и закалке продукта синтеза 2800 К. Полученные порошки содержат вариант I: TiC – 92,13 %, C_{своб} – 1,31 %, TiO₂ – 6,56 %, N_{связ} – 0,82 %; вариант II: TiC – 93,42 %, C_{своб} – 1,21 %, Ti_{своб} – 5,37 %, N_{связ} – 0,97 %. Содержание карбида титана, как в первом варианте, так и во втором, превышает 92 %, что при такой дисперсности порошков является практически максимальным и позволяет отказаться от дальнейшей оптимизации процессов.

УДК 669.8

СИНТЕЗ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ КАРБИДОВ БОРА, ТИТАНА И ХРОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА

КРУТСКИЙ Ю.Л., БАННОВ А.Г., ДЮКОВА К.Д., АНТОНОВА Е.В.

*Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск*

Карбиды бора, титана и хрома характеризуются высокой температурой плавления, значительной твердостью, химической инертностью и по этим причинам являются одними из наиболее перспективных и широко исполь-

зуемых тугоплавких соединений. Нановолокнистый углерод (НВУ) является перспективным углеродным материалом для синтеза вышеуказанных соединений. Удельная поверхность НВУ составляет порядка $100 \text{ м}^2/\text{г}$. НВУ представлен нитевидными волокнами ($d_{\text{ср}} \sim 70 \text{ нм}$).

Данная работа посвящена исследованию процессов синтеза карбидов бора, титана и хрома при использовании в качестве одного из реагентов нановолокнистого углерода. Синтез данных соединений производился в индукционной печи в атмосфере аргона. Карбид бора получен синтезом из элементов, а остальные карбиды – карботермическим восстановлением оксидов. Рентгенофазовым анализом установлено наличие в образцах только карбидных фаз. Рентгеноспектральный флуоресцентный метод показал наличие примесей в продуктах реакции на следовом уровне. Форма и размер частиц определены методами просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии. Удельная поверхность и пористость образцов определены методом БЭТ. Термоокислительная стойкость изучена методом синхронного термического анализа.

При температурах $1800 \text{ }^\circ\text{C}$ (карбид бора), $1650 \text{ }^\circ\text{C}$ (карбид хрома) и $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ (карбид титана) и времени выдержки 15-40 минут были получены порошки с размером частиц 100-500 нм. Частицы карбидов преимущественно сферической формы и частично агломерированы.

Полученные карбиды могут быть использованы в качестве модификаторов литейных сплавов, для изготовления огнеупорной керамики и в качестве компонентов композиционных электрохимических покрытий.

УДК 622.6

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ЭМИССИИ СМОЛИСТЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ КАМЕННОУГОЛЬНОГО ПЕКА

Минцис М.Я., АЛБЕРДИНА А.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Каменноугольный пек, представляющий собой смесь конденсированных ароматических углеводородов и гетероароматических соединений, широко используется в алюминиевой промышленности как связующее вещество при производстве электродных масс и изделий.

При повышении температуры выше $80\text{-}85 \text{ }^\circ\text{C}$ из пека выделяются газы и смолистые вещества (СВ), значительная часть из них является полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ), которые обладают высокой биологической активностью и относятся к первому классу опасности.

Как показывает практика, из расплавленного пека выделяются в атмосферу газообразные и смолистые вещества, часть из которых конденсируется внутри вытяжных труб. Это приводит к загрязнению окружающей среды и к

изменению качества пека.

Каменноугольный пек на 58 – 75 % состоит из летучих соединений, в которых содержание бенз(а)пирена (БАП), одного из наиболее опасных соединений, может составлять от 0,05 до 3,5 % (масс.). Одной из особенностей пека является резкое увеличение эмиссии СВ (на несколько порядков) даже при сравнительно небольшом увеличении его температуры, что видно из данных работы М. Сорлье (рисунок 1)

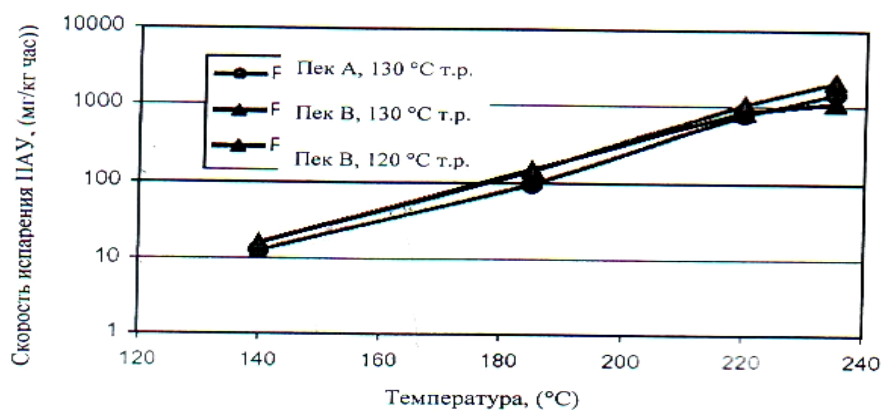


Рисунок 1 – Скорость выделения ПАУ в зависимости от температуры

Данные, приведенные на рисунке 1, свидетельствуют о том, что выброс ПАУ пропорционален температуре и массе пека, но из начал физической химии известно, что испарение происходит с поверхности соприкосновения данного вещества с воздухом. Для оценки влияния поверхности пека на эмиссию ПАУ в лаборатории одного из цехов Новокузнецкого алюминиевого завода были проведены исследования.

Для этого проба просушенного пека массой 800 г помещалась в два цилиндрических сосуда, диаметров 12,0 и 17,0 см, которые одновременно устанавливались в термостат, через определенное время пробы извлекали и определяли убыль их массы. Результаты замеров и вычислений приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Изменение потери массы пека в зависимости от температуры

Температура, °C	Изменение убыли массы проб			
	сосуд Ø 17,0 см (226,8 см ²)		сосуд Ø 12,0 см (113 см ²)	
	г/ч	г/ч·м ²	г/ч	г/ч·м ²
140	0,70	30,86	0,42	37,15
160	1,5	66,12	0,67	59,27
180	2,43	107,11	1,30	114,24
200	4,05	178,52	2,27	200,81

Таким образом, эмиссия СВ, содержащихся в пеке, возрастает как с увеличением его температуры, так и с увеличением поверхности пека, со-

прикасающейся с воздухом.

Практически полученные данные свидетельствуют о необходимости максимально возможного снижения поверхности жидкого пека в процессе его хранения. Это важно не только с целью ухудшения экологии, но и с технологической точки зрения, так как увеличение эмиссии СВ ведет к изменению состава пека и его температуры размягчения, что может негативно повлиять на качество электродной массы.

Существующие на алюминиевых заводах хранилища пека обладают огромной открытой поверхностью, что влечет за собой большой выброс СВ, что можно наблюдать визуально. Кроме того, переливку пека из железнодорожных цистерн в хранилища пека целесообразно осуществлять под слой пека, а не сверху на его поверхность.

Есть основания полагать, что с поверхности анодной массы, используемой для формирования самообжигающихся анодов алюминиевых электролизеров, эмиссия СВ будет возрастать по мере снижения отстоев пека, так как фактическая поверхность всех частиц кокса будет больше, чем площадь анодного кожуха. Об этом свидетельствуют и некоторые данные эксплуатации, так называемой коллоидной анодной массы, однако это предположение нуждается в детальной проверке

Библиографический список

1. Сорлье М. ПАУ и выбросы паров пека с поверхности анода Содерберга / М. Сорлье // ТЭВ РУСАЛа. – 2005. – № 11. – С. 33 – 37.

УДК 621.745.34.012.001.53

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТВЕРДОГО ТОПЛИВА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ШАХТНЫХ ПЕЧАХ¹

СЕЛЯНИН И.Ф., ФЕОКТИСТОВ А.В., БЕДАРЕВ С.А.

***Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк***

Вагранка как шахтная печь малого диаметра широко применяется для плавки чугуна в литейных цехах и оксидных материалов при изготовлении теплоизоляционных изделий. Шахтные печи большого диаметра (доменные печи) используются для выплавки чугуна, бедного ферросилиция и ферромарганца на металлургических предприятиях. В качестве топлива в шахтных печах применяют кокс, прочность которого позволяет вести технологический процесс плавки в устойчивом режиме. Однако производство кокса - это дорогостоящий материало- и энергоемкий процесс, влияющий на себестоимость готовой продукции.

¹ Работа выполнена по заказу Министерства образования и науки РФ (№7.3909.2011)

Для уменьшения себестоимости сырья неоднократно предполагалось заменить дорогостоящий кокс на более дешевое и качественное сырье. В Сибирском государственном индустриальном университете (СибГИУ) ведутся исследования по замене кокса на альтернативное твердое топливо, состоящее из тощих углей и древесины (породы береза и лиственница). Особое влияние на плавку оказывает прочность кусков твердого топлива. Прочность твердого топлива определяет ведение процесса с точки зрения заданных технологических параметров, поэтому оценка ее значений способствует оптимизации подбора компонентов шихты.

В шахтных печах твердое топливо находится под давлением шихтовых материалов. При движении от колошника к очагу горения куски топлива частично разрушаются, окончательное же их разрушение и газификация происходит в очагах горения.

Существующие установки и методики исследования прочности твердого топлива позволяют определять этот показатель только при низких температурах 20 – 25 °С, что не соответствует условиям, при которых находятся куски кокса, углей и брикеты в шахтных печах в период плавки.

На кафедре литейного производства СибГИУ для определения прочности твердого топлива сконструирована установка [1, 2], схема которой представлена на рисунке 1. Установка состоит из цилиндрического корпуса 8 с барабаном, установленных на опору 4, колосниковой решетки 5, верхней решетки 9, штанги 12, упора 11, набора грузов 10 в виде дисков или так называемых блинов. Установка снабжена трубопроводом 3 для подачи воздуха от вентилятора 16, весами 1, тарой 2 для приема проваливающегося топлива. В корпусе 8 выполнено окно 13 для розжига кусков 6, 7 топлива; низ корпуса перекрыт шибровой заслонкой 15. Для откидывания колосниковой решетки служит шарнир 14.

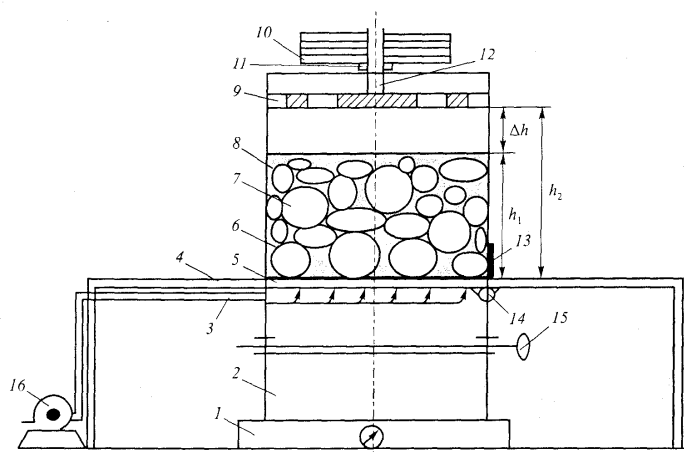


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки

В установку загружают топливо начальной массой M_0 и измеряют начальную высоту h_0 столба топлива. После загрузки топлива в барабан на верхнюю поверхность кусков топлива устанавливают штангу с решеткой. На

штангу нанизывают металлические диски, имитирующие различную высоту столба шихты в период горения. После розжига топлива и подачи дутья установка переходит на рабочий режим.

Топливо горит фиксированное время Δt , взятое с таким расчетом, чтобы по истечении этого времени слой топлива выгорал на половину начальной высоты h_0 , конечную высоту столба топлива фиксируют по риску на штанге.

Определяется скорость разрушения и газификации топлива

$$v_T = \frac{M_{1T} - M_{0T}}{V_0 \Delta t_T} = \frac{\rho_{1T} - \rho_{0T}}{\Delta t_T} = \frac{\Delta \rho_T}{\Delta t_T} \text{ кг/(м}^3 \cdot \text{с)},$$

где M_{1T} – масса топливного ос-

татка высотой $0,5h_0$; M_0 – начальная масса топлива высотой $0,5h_0$; V_0 – объем слоя топлива, высотой $0,5h_0$; $\rho_1 M_1/V_1$ – насыпная плотность топливного остатка; $\rho_0 M_0/V_0$ – начальная насыпная плотность топлива; Δt_T – время горения слоя топлива высотой $0,5h_0$; индекс «т» – топливо. Далее в качестве эталона сравнения необходимо выбрать марку кокса с известной высокой прочностью. Для него аналогично определяется скорость разрушения и газификации v_K . После этого определяется критерий прочности и газификации то-

плива по отношению к эталону $\varepsilon_v = \frac{v_K}{v_T}$, здесь индекс «к» обозначает, что в

качестве топлива взят кокс.

Преимуществом данной установки является то, что становится возможным наблюдать за процессом разрушения топлива в динамике, учитывая основные факторы, оказывающие воздействие на слой топлива в процессе плавки (давление столба шихты, высокие температуры, влияние дутья и др.).

Выводы. Изготовлена лабораторная установка, которая позволяет определять прочность твердого топлива в условиях, аналогичных для шахтных печей малого и большого диаметра. Получены выражения для определения критериев прочности и газификации твердого топлива. Американо-русский деловой союз наградил СибГИУ международной наградой – золотой медалью «Innovations for investments» и дипломом за разработанную лабораторную установку.

Библиографический список

1. Пат. № 96963 РФ, МПК G 01 № 1/18. Лабораторная установка для исследования прочности твердого топлива / Селянин И.Ф., Феоктистов А.В., Куценко А.И. и др. Заявл. 22.03.2010. Оpubл. 20.08.2010 // Изобретения. Полезные модели. № 23.
2. Пат. № 99616 РФ, МПК G 01 № 33/22. Лабораторная установка для исследования прочности твердого топлива / Селянин И.Ф., Феоктистов А.В., Куценко А.И. и др. Заявл. 22.03.2010. Оpubл. 20.11.2010. // Изобретения. Полезные модели. № 32.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЛИЯНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ РАСПЛАВОВ И КАЧЕСТВО ЛИТЬЯ

**ДЕЕВ В.Б., СЕЛЯНИН И.Ф., ПРОХОРЕНКО А.В.,
ПОНОМАРЕВА К.В., БИНАС О.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Физические модифицирующие воздействия (тепловые, электромагнитные, механические и др.) на металлические расплавы показали [1, 2] свою эффективность в технологиях получения качественных отливок.

Тепловой обработкой расплавов на основе алюминия занимались А.Г. Спасский, Д.П. Ловцов, Г.Г. Крушенко, В.З. Кисунько, И.А. Новохатский, П.С. Попель, О.А. Чикова, Ри Хосен, Г.С. Ершов, И.В. Гаврилин, В.И. Никитин, Н.М. Кочегура, И.Г. Бродова, А.Г. Пригунова, И.Ф. Селянин, Ф.М. Котлярский и др. Ими проведены масштабные исследования по влиянию температурной обработки (ВТВО, ТВО, ТСО и их разновидностей) на свойства сплавов и отливок в твердом и жидком состояниях. Показано, что использование температурной обработки при повышенном содержании лома и отходов в шихте позволяет уменьшить микронеоднородное состояние расплава и оказывает модифицирующее влияние на структуру получаемых сплавов и, соответственно, повышает служебные и механические свойства литых изделий.

Перспективными способами физического воздействия на расплав являются обработка расплавов электрическим током, магнитными полями и импульсами, теоретические и технологические основы которых развиваются в работах В.А. Ефимова, Л.А. Верте, И.Л. Повха, В.И. Дубоделова, Ри Хосена, Г.П. Борисова, В.В. Крымского, Л.Г. Знаменского, Б.А. Кулакова, В.И. Якимова, Г.Н. Миненко и др.

Теоретическое описание модифицирующего влияния физических воздействий на процессы кристаллизации и структурообразования и получение мелкозернистой структуры в сплавах является весьма дискуссионным и единого мнения по этому вопросу до сих пор нет. Между тем, понимание сущности процессов обработки и создания единого подхода к получаемым в дальнейшем явлениям позволит более глубоко подойти к созданию обобщенной теории модифицирования сплавов физическими воздействиями.

Ряд исследователей считает, что после некоторых физических воздействий (например, ТВО, ТСО и т.д.) мелкозернистая структура формируется за счет изменения степени переохлаждения более гомогенного расплава, которое, в свою очередь, определяет характер кристаллизации. Другие полагают, что модифицирующий эффект после обработки физическими воздействи-

виями (электромагнитные поля, вибрация, ультразвук и др.) проявляется в результате ускорения процесса кристаллизации за счет обламывания образующихся дендритов и замешивания их мелких обломков в расплав, что способствует интенсификации зародышеобразования. Существует также мнение, что электромагнитные воздействия уменьшают межфазовую поверхностную энергию на границе «зародыш – расплав», что способствует формированию дополнительных центров кристаллизации, блокируя при этом рост дендритных ветвей за счет интенсификации массопереноса.

Экспериментальные результаты по исследованию термоЭДС и процесса кристаллизации показали [3, 4], что применение физических воздействий (ТВО при плавке, магнитное поле при заливке, электрический ток при кристаллизации) для обработки расплавов состава АК7ч, АК5М2, АМ5 уменьшает температурный интервал кристаллизации на $6...11\text{ }^{\circ}\text{C}$, а комплексная технология обработки расплавов ТВО, магнитным полем или электрическим током – на $8...15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Было выявлено увеличение полного времени затвердевания сплавов $\tau_{\text{п}}$ (которое отсчитывается от температуры заливки до окончания «стояния» температуры конца кристаллизации) после обработки расплавов ТВО в сравнении с исходным в $1,11...1,16$ раз, после комплексной обработки ТВО, магнитным полем или электрическим током – в $1,19...1,28$ раз. Увеличению $\tau_{\text{п}}$ способствует рост времени кристаллизации, которое увеличивается за счет уменьшения конвективной теплопроводности, повышения вязкости кристаллизующегося расплава. Изменение параметров кристаллизации рассматриваемых сплавов способствуют формированию мелкозернистой структуры последних, что было подтверждено металлографическими исследованиями.

На основании исследования процесса кристаллизации и свойств сплавов был предложен следующий механизм влияния физических модифицирующих воздействий на кристаллизацию алюминиевых расплавов.

Физические модифицирующие воздействия (ТВО, электромагнитные поля, вибрация) на расплавы при плавке, заливке, кристаллизации способствуют их перемешиванию, увеличению турбулизации и гомогенизации. В результате в процессе кристаллизации расплава уменьшаются продольные и поперечные температурные и концентрационные градиенты (замедляется скорость разделительной диффузии компонентов), увеличивается энтропия системы, то есть – время существования жидкой фазы (увеличивается время кристаллизации и полное время затвердевания). При минимальном температурном градиенте dT/dx конвективные потоки практически отсутствуют; разделительная диффузия в ламинарной пленке на фронте кристаллизации замедляется и принимает молекулярный характер.

Таким образом, согласно предлагаемому механизму, физические воздействия гомогенизируют расплавы по концентрации и температуре, увеличивают энтропию системы и устойчивость жидкого состояния. Уменьшение температурных (dT/dx) и концентрационных (dC/dx) градиентов приводит к уменьшению конвективных и концентрационных потоков в расплавах в пе-

риод кристаллизации от жидкой фазы к фронту кристаллизации или к отдельному зародышу («строительный» материал поступает неориентированно за счет концентрационных и тепловых флуктуаций). Вследствие уменьшения градиентов dT/dx , dC/dx кристаллизация переходит от стадии фронтально-дендритной к стадии объемной с образованием мелкозернистой неориентированно-дендритной структуры. При этом подавляются ликвационные процессы.

Результаты исследований [5 – 7] влияния физических воздействий (ТВО, электрического тока, магнитного поля), шихтовых заготовок (с эффектом ТВО) на процессы кристаллизации и структурообразования, а также на механические и технологические свойства литейных алюминиевых сплавов АК7ч, АК5М2, АМ5 позволили разработать ресурсосберегающие технологии в соответствии с рассмотренными выше положениями. Данные технологии реализованы в условиях нескольких промышленных предприятий при получении тонкостенных отливок (как в кокиль, так и в песчано-глинистую форму) различного назначения.

Использование ТВО при плавке промышленных алюминиевых сплавов позволило повысить качество отливок, полученных литьем по газифицируемым моделям.

Библиографический список

1. Специальные способы литья: справочник / В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н. Бабич и др.; под общ. ред. В.А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 736 с.
2. Ершов Г.С. Высокопрочные алюминиевые сплавы на основе вторичного сырья / Г.С. Ершов, Ю.Б. Бычков. – М.: Metallurgia, 1979. – 192 с.
3. Башмакова Н.В. Исследование влияния электрического тока на свойства алюминиевых сплавов с повышенным содержанием железа. Автор-т дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Новокузнецк: СибГИУ, 2007. 18 с.
4. Цецорина С.А. Исследование влияния магнитного поля на свойства литейных алюминиевых сплавов и разработка ресурсосберегающей технологии их получения. Автор-т дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Новокузнецк: СибГИУ, 2008. 19 с.
5. Деев В.Б. Особенности использования лома и отходов при получении качественных литейных алюминиевых сплавов / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, С.А. Цецорина и др. // Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции «Теория и практика литейных процессов». – Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2012. С. 83–86.
6. Деев В.Б. Получение герметичных алюминиевых сплавов из вторичных материалов / В.Б. Деев // Монография. – М.: Флинта: Наука, 2006. – 218 с.
7. Деев В.Б. Влияние электромагнитных воздействий на свойства литейных алюминиевых сплавов / В.Б. Деев // Вестник горно-металлургической секции РАЕН: сб. науч. тр. Вып. 27. – М.: Новокузнецк: СибГИУ, 2011. С. 117–122.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РАСПЛАВЫ В ЛИТЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

**ДЕЕВ В.Б., ЦЕЦОРИНА С.А., ПРОХОРЕНКО А.В.,
ПОНОМАРЕВА К.В., БИНАС О.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Применение повышенного количества лома и отходов при производстве отливок из алюминиевых сплавов способствует насыщению расплавов неметаллическими включениями, газами и микронеоднородностями различных размеров и составов, приводит к увеличению содержания в сплавах нежелательных примесей, грубокристаллическому строению структуры, пористости и другим негативным явлениям. Все это значительно снижает качество литых изделий.

Исследование влияния различной шихты на свойства сплава АК7ч показало (таблица 1), что чем больше в шихте содержится лома и отходов, тем ниже уровень механических свойств в литом состоянии и повышенное содержание неметаллических включений. При этом химический состав полученных сплавов интервалов соответствовал составу АК7ч. То есть, попадание в регламентируемые ГОСТ 1583-93 интервалы содержания основных и примесных компонентов еще не гарантируют получение мелкозернистой структуры и качественного литья. Рафинирование сплавов (таблица 1) не дает достаточного эффекта при содержании в шихте вторичных материалов более 30 %.

Следует заметить, что отдельные неудачи по работе с вторичными материалами создали о них мнение как о нежелательных составляющих шихты. Между тем, разница в цене между чушковыми и вторичными материалами составляет, в среднем, в 2...2,5 раза. И если бы удалось увеличить их содержание в шихте до 80...100 % при гарантированном получении необходимого уровня механических свойств (не ниже требований ГОСТ 1583-93), то это позволило бы получить существенную экономию при производстве отливок.

Представляется, что для получения качественных отливок с использованием повышенного количества лома и отходов помимо тщательной организации сбора, сортировки и подготовки шихтовых материалов и учетом наследственности используемой шихты необходимо создание эффективных технологий рафинирующей и модифицирующей обработки расплавов в процессе плавки, заливки в литейные формы, кристаллизации. Из всех существующих способов обработки металлических расплавов перспективы имеют физические воздействия, которые показали [1, 2] свою эффективность в технологиях получения качественного литья.

Таблица 1 – Свойства сплава АК7ч при различном содержании лома и отходов в шихте

Используемая шихта, %	Свойства сплава (без рафинирования/с рафинированием) ¹		
	σ_B , МПа	δ , %	Al ₂ O ₃ , %
100 чушковых материалов	202/210	4,3/5,0	0,032/0,028
70 чушковых материалов + 30 лома и отходов ²	186/197	3,6/4,2	0,044/0,034
50 чушковых материалов + 50 лома и отходов	178/190	3,2/3,5	0,052/0,043
30 чушковых материалов + 70 лома и отходов	162/170	2,3/2,7	0,061/0,054
100 лома и отходов	149/155	1,5/1,8	0,068/0,063
¹ рафинирование осуществляли флюсом «МХЗ»;			
² лом и отходы во всех вариантах составляли: 50...55 % – мелкого лома и отходов сплава АК7ч, 45...50 % – брикетированной стружки состава АК7ч			

Физические (или внешние) воздействия на расплавы при плавке, заливке, кристаллизации (температурная обработка – термовременная (ТВО), термоскоростная (ТСО) и др.; ультразвук; вибрация; электрические и магнитные поля; несинусоидальные электромагнитные импульсы и т.д.) относят к технологиям физического модифицирования структуры (хотя термин этот в настоящее время еще не совсем «прижился» в производственной среде), оптимальная реализация которых позволяет использовать повышенное количество лома и отходов при плавке, нивелировать действие нежелательных примесей и получать алюминиевые сплавы с мелкозернистой структурой, заданным химическим составом, требуемым уровнем содержания газовых и неметаллических включений и комплекса свойств [3]. Физические воздействия имеют неоспоримые преимущества по сравнению с другими способами обработки расплавов – более благоприятная экологическая обстановка; не используются дорогостоящие модификаторы; не изменяется химический состав расплава во время плавки, что, в отличие от технологий с использованием элементов-модификаторов, не приводит к накоплению в сплавах при дальнейших переплавах излишнего количества примесей. Но практическое применение таких ресурсосберегающих технологий для фасонного литья из алюминиевых сплавов сдерживается из-за недостаточной изученности процессов.

На кафедре литейного производства СибГИУ за период 2001–2011 гг. проведены исследования влияния различных способов обработки расплавов физическими воздействиями: при плавке (термовременная обработка (ТВО)), заливки (магнитное поле), кристаллизация (вибрация, электрический ток), а также различные комплексные воздействия. Результаты показали, что тща-

тельный анализ всего технологического процесса, включающий сортировку шихты с учетом наследственности, оптимизацию температурных режимов плавки (проведение ТВО), выбор рациональной технологии рафинирования (которое является обязательной операцией), использование электромагнитных воздействий, позволит заложить требуемый «резерв» в качество получаемого литья. Особую целесообразность имеет применение ТВО расплава в комплексе с электромагнитными воздействиями [4, 5] – магнитным полем при заливке, электрическим током при кристаллизации (для этого были сконструированы специальные устройства). При этом обработка расплава электрическим током при кристаллизации должна учитывать конфигурацию и массу обрабатываемой отливки с целью рационального подвода токопроводящих элементов и равномерной обработки расплава током определенной плотности в полости формы. Как правило, оптимальные режимы обработки определяются дополнительными экспериментами в каждом конкретном случае.

Вышеперечисленные технологии способствуют снижению пористости, формированию в сплаве мелкозернистой структуры и повышению механических, технологических и эксплуатационных свойств. Количество вторичных материалов в шихте (особенно при использовании комплексной обработки с обязательной ТВО расплава) может быть повышено (в среднем) – до 70...90 %. При этом при использовании физических воздействий (как отдельно, так и в комплексе) – ТВО, магнитного поля при заливке, электрического тока при кристаллизации у сплавов АК7ч, АК5М2, АМ5 выявлено устойчивое повышение механических свойств в литом состоянии (в среднем): σ_B – на 17...35 %; δ – на 40...100 %; повышение жидкотекучести – на 10...30 %; снижение пористости (до 1-2 балла).

Библиографический список

1. Специальные способы литья: справочник / В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н. Бабич и др.; под общ. ред. В.А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 736 с.
2. Ершов Г.С. Высокопрочные алюминиевые сплавы на основе вторичного сырья / Г.С. Ершов, Ю.Б. Бычков. – М.: Металлургия, 1979. – 192 с.
3. Ловцов Д.П. Перспективные технологические методы управления качеством отливок / Д.П. Ловцов // Литейщик России. 2004. № 6. С. 8–10.
4. Цецорина С.А. Исследование влияния магнитного поля на свойства литейных алюминиевых сплавов и разработка ресурсосберегающей технологии их получения. Автор-т дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – Новокузнецк: СибГИУ, 2008. 19 с.
5. Деев В.Б. Влияние электромагнитных воздействий на свойства литейных алюминиевых сплавов / В.Б. Деев // Вестник горно-металлургической секции РАЕН: сб. науч. тр. Вып. 27 – М.: Новокузнецк: СибГИУ, 2011. С. 117–122.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМАЦИИ НА ВЫРАБОТКУ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ЗАГОТОВОК ПРИ ПРОКАТКЕ НА СТАНЕ 250-2 ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»

УМАНСКИЙ А.А.*, МАРТЬЯНОВ Ю.А.**

**Сибирский государственный индустриальный университет»,
ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»
г. Новокузнецк*

В настоящее время производство проката на непрерывном мелкосортном стане 250-2 ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» характеризуется значительным уровнем получения продукции несоответствующего качества (брака). Особенно высокий уровень наблюдается при производстве конструкционного проката для холодной высадки – выход годного не превышает 80-85 %. При этом основной причиной отбраковки являются поверхностные дефекты на исходных заготовках. По данным многочисленных исследований использование оптимальных режимов прокатки на сортовых станах позволяет значительно повысить выработку дефектов с исходной заготовки. При этом можно констатировать, что на сегодняшний день отсутствует единое мнение о влиянии технологических параметров прокатки на качество поверхности готовой металлопродукции. Данный факт объясняется сложностью и недостаточной изученностью процессов течения металла при прокатке в калибрах.

С целью анализа влияния параметров деформации на выработку поверхностных дефектов в процессе прокатки в условиях мелкосортного стана 250-2 проведена серия опытно-промышленных экспериментов. Согласно разработанной методике на поверхность исходных заготовок наносили искусственные дефекты в виде продольных трещин. Дефекты глубиной 2 мм и шириной 5 мм наносили на верхнюю, боковую и нижнюю грани заготовки и на ребра заготовок, находящихся на пересечении указанных граней. В процессе проведения экспериментов оценивали влияние на выработку дефектов следующих параметров: калибровка валков черновой группы клетей, месторасположение дефектов на поверхности исходных заготовок, интенсивность охлаждения раската водой в процессе прокатки.

В качестве критерия, характеризующего выработку дефектов, приняли коэффициент выработки, определяемый как отношение исходной глубины дефектов к глубине дефектов после прокатки. Глубина дефектов до и после прокатки определялась на отобранных пробах с использованием микроскопа при 100-кратном увеличении.

Для оценки значимости влияния параметров прокатки на коэффициент выработки дефектов использовали стандартные методики дисперсионного и регрессионного анализа.

В результате обработки данных промышленных экспериментов с ис-

пользованием дисперсионного анализа установлено, что калибровка валков клетей черновой группы и месторасположение дефектов на исходной заготовке оказывают значимое влияние на коэффициент их выработки при прокатке.

Коэффициент выработки поверхностных дефектов при использовании системы калибров овал-ребровой выше соответствующего показателя при чередовании ящичных и шестигранных калибров в 1,18 – 1,25 раз. Данный факт обусловлен тем, что при увеличении степени подобия формы исходного подката и калибра достигается более равномерное распределение обжатию по ширине калибре, что приводит к снижению величины растягивающих напряжений и способствует лучшей выработке дефектов. Глубина дефектов, расположенных на ребрах заготовок, совпадает с данными, полученными в ходе проведения лабораторных экспериментов.

Глубина дефектов, нанесенных на ребра заготовок, уменьшается в 1,05–1,07 раза более интенсивно, чем глубина дефектов на гранях заготовок, что связано с особенностями течения металла в различных зонах калибров. Так в центральной зоне калибра металл при деформации получает только вертикальное смещение, в результате чего толщина поверхностных слоев металла уменьшается незначительно и выработка дефектов этом случае минимальна. В боковых зонах калибра имеет место одновременное перемещение поверхностных слоев металла в направлении обжатия и в горизонтальном направлении, что способствует значительному уменьшению толщины поверхностных слоев металла и интенсивной выработке поверхностных дефектов.

Интенсивность выработки поверхностных дефектов, расположенных вблизи заднего конца раската, значительно (в 1,87-1,89 раза) меньше по сравнению с дефектами в средней части заготовок. Такая картина связана с отсутствием одной из внешних зон при прокатке на концевых участках раската.

Влияние охлаждения раската водой в процессе прокатки проявляется в том, что наиболее интенсивно вырабатываются дефекты, подвергающиеся наименее интенсивному охлаждению. Так при уменьшении интенсивности охлаждения в 1,5 раза коэффициент выработки дефектов возрастает в 1,17-1,25 раза. В наименьшей степени вырабатываются дефекты, расположенные при прокатке на верхней грани заготовки за счет возникновения микровзрывов при заполнении полостей дефектов охлаждающей водой.

Использование результатов исследований при совершенствовании режимов прокатки на мелкосортном стане 250-2 позволило достигнуть повышение выхода годного при производстве конструкционного проката по ГОСТ 10702-78 на 3 %.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ТОНКУЮ СТРУКТУРУ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ, ПОДВЕРГНУТОЙ МНОГОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ*

**Гришунин В.А.¹, Соломатина Е.В.¹, Комиссарова И.А.¹,
Коновалов С.В.¹, Иванов Ю.Ф.², Громов В.Е.¹**

¹*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

²*Институт сильноточной электроники СО РАН,
г. Томск*

В последние годы активно развиваются новые способы обработки поверхностей металлических материалов концентрированными потоками энергии (лазерное, ионное, плазменное и электронное облучение), применение которых создает необходимые условия для образования в поверхностном слое неравновесных структурно-фазовых состояний субмикро- и наноразмерного диапазонов. Физический смысл наноструктурирования материала состоит в снижении масштабного уровня локализации пластической деформации, что приводит к более равномерному распределению упругих напряжений в более значительном объеме материала при внешнем энергетическом воздействии на поверхность.

Практический результат электронно-пучковой обработки поверхности сталей различных структурных классов заключается в существенном увеличении усталостной выносливости. В связи с этим целью работы являлось исследование влияния электронно-пучковой обработки рельсовой стали Э76Ф на изменение ее структурно-фазового состояния.

Перед облучением электронным пучком сталь прошла термическую обработку: нагрев до 900 °С с последующим охлаждением с печью. Образцы облучались электронным пучком на установке при следующих фиксированных параметрах: длительность импульса воздействия пучка электронов $\tau = 50$ мкс; количество импульсов воздействия $N = 3$ имп.; частота следования импульсов $f = 0,3$ с⁻¹. Переменным параметром обработки являлась величина плотности энергии пучка электронов E_s , которая для образцов партии № 1 – $E_s = 10$ Дж/см²; партии № 2 – $E_s = 20$ Дж/см²; партии № 3 – $E_s = 30$ Дж/см². Обработка в указанных режимах обеспечивала увеличение усталостного ресурса в 2,4 раза при многоцикловых испытаниях.

Морфологию поверхности облучения изучали методами растровой

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г.г.» (Соглашение №№14.В37.11.0071).

электронной микроскопии. Фазовый состав и дефектную субструктуру поверхности облучения анализировали методами просвечивающей электронной микроскопии.

Предварительная термическая обработка стали привела к формированию поликристаллической структуры, представленной зернами структурно свободного феррита, зернами перлита преимущественно пластинчатой морфологии зернами «псевдоперлита». Зерна феррита и «псевдоперлита» содержат дислокационную субструктуру в виде сеток и хаотически расположенных дислокаций. Скалярная плотность дислокаций $\sim 4 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Вблизи границ и стыков границ зерен наблюдается фрагментированная, реже, субзеренная структура. В ферритных прослойках перлита выявляется дислокационная субструктура преимущественно в виде хаотически распределенных дислокаций, скалярная плотность которых $\sim 2.8 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

Обработка стали электронным пучком привела к значительному преобразованию морфологии поверхности облучения. Поверхность после облучения электронным пучком при $E_s = 10 \text{ Дж/см}^2$ покрывается сетью микрократеров. Увеличение плотности энергии пучка электронов до 20 Дж/см^2 и, затем, до 30 Дж/см^2 сопровождается снижением количества микрократеров и увеличением их размеров. В поверхностном слое формируется поликристаллическая структура, средний размер зерен которой при плотности энергии пучка электронов 10 Дж/см^2 составляет $\sim 5 \text{ мкм}$. В объеме зерен наблюдается субзеренная структура в виде ячеек, размер которых изменяется в пределах от $0,25 \text{ мкм}$ до $0,55 \text{ мкм}$.

Увеличение плотности энергии пучка электронов до 20 Дж/см^2 и 30 Дж/см^2 сопровождается увеличением среднего размера зерна до $\sim 8,5 \text{ мкм}$. В объеме зерен в обоих случаях также наблюдается структура ячеистой кристаллизации. Увеличение плотности энергии пучка электронов приводит к увеличению ячеек кристаллизации, размеры которых при $E_s = 30 \text{ Дж/см}^2$ изменяются в пределах от $0,4 \text{ мкм}$ до $0,65 \text{ мкм}$. Одновременно с этим изменяется и форма ячеек кристаллизации: если при $E_s = 10 \text{ Дж/см}^2$ ячейки кристаллизации имеют равноосную форму, то при $E_s = 30 \text{ Дж/см}^2$ кристаллизация расплава протекает с образованием дендритной структуры с осями первого и второго порядка. При облучении стали электронным пучком с $E_s = (20 \dots 30) \text{ Дж/см}^2$ структура ячеистой кристаллизации формируется повсеместно, что указывает на формирование однородного по углероду жидкого раствора на основе железа. В поверхностном слое выявляются зерна со структурой пакетного мартенсита, поперечные размеры кристаллитов которых изменяются в пределах от 85 нм до 220 нм .

Увеличение плотности энергии пучка электронов до 20 Дж/см^2 (и до 30 Дж/см^2) приводит к формированию в поверхностном слое морфологически и размерно однородной структуры пакетного мартенсита. Размеры пакетов изменяются в пределах $(0,8 \dots 1,0) \text{ мкм}$; поперечные размеры кристаллов мартенсита $(80 \dots 200) \text{ нм}$.

РАЗВИТИЕ СПОСОБА НЕПРЕРЫВНОГО ПРЕССОВАНИЯ «КОНФОРМ»

ФАСТЫКОВСКИЙ А.Р., РЫКОВ К.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Постоянно растущие требования по снижению энергозатрат, повышению производительности, расширению сортамента готовых изделий инициировали разработку принципиально новых способов обработки, основанных на использовании активных сил трения в очаге деформации для обеспечения непрерывности процесса прессования [1 – 3]. Из известных способов непрерывного прессования наибольший интерес с практической точки зрения представляет способ, получивший название «Конформ» [4]. К достоинствам данного способа относится возможность сварки металла в очаге деформации, простота кинематической схемы, высокая технологическая гибкость за счет быстрой смены инструмента, для деформирования не требуется нагрева до высоких температур, так как в процессе формоизменения выделяется тепло, обеспечивающее высокую пластичность металла. Непрерывное прессование по способу «Конформ» позволяет получить высокое качество и точность геометрических размеров готовых изделий без дополнительной обработки, практически полное использование материала заготовки благодаря отсутствию пресс-остатка, значительное снижение капитальных вложений при строительстве и энергозатрат в процессе эксплуатации.

Однако практическая реализация способа «Конформ» сдерживается не достаточной технической и технологической разработкой процесса, малой изученностью в теоретическом плане и в связи с этим отсутствием обоснованных рекомендаций по выбору энергоэффективных режимов формоизменения.

Для реализации способа «Конформ» используется вращающийся валк и неподвижный «башмак», охватывающий четверть окружности валка. Валок и башмак образуют закрытый канал с постоянным сечением по длине. В конце канал перекрыт упором, а для формирования готового профиля используется матрица, расположенная, как правило, в верхней части «башмака» в районе упора. Под действием активных сил трения на поверхности валка металл втягивается в канал, где создается давление необходимое для прессования. Анализ известных конструкций устройств для осуществления способа «Конформ» позволил выявить их недостатки, накладывающие ограничения и создающие сложности при практической реализации:

1. Сечение заготовки должно точно соответствовать сечению канала. В противном случае активных сил трения будет не достаточно для прессования;
2. На входе в канал необходимо размещать задающее устройство, обеспечивающее начальную стадию процесса;

3. Величина активных сил трения не поддается регулировки и как правило значительно превышает необходимое значение, что в свою очередь приводит к неоправданно большим затратам энергии;

4. Отсутствие деформации металла между валком и «башмаком» делает не возможным использование данного способа для получения простых профилей, плющеной ленты, переносит всю нагрузку по формированию готового профиля на матрицу.

Устранить выявленные недостатки и ограничения можно за счет изменения конструкции крепления башмака. Необходимо дополнительно оборудовать установку «Конформ» устройством изменяющим угол наклона башмака. Такое конструктивное решение позволит изменить форму канала, образованного валком и «башмаком». Высота канала будет уменьшаться от входа до матрицы, что обеспечит дополнительную деформацию заготовки в канале, уменьшив нагрузку на матрицу. Деформирование металла в канале позволит снять ограничения по размерам и форме сечения заготовки. Изменение угла наклона «башмака» позволит менять площадь очага деформации, где действуют активные силы трения, тем самым создавая оптимальные с точки зрения энергозатрат условия ведения процесса. Возможность деформирования в сужающемся канале, образованном валком и «башмаком» позволит формировать простые профили без использования матрицы, что существенно снизит энергозатраты и сделает экономически выгодным такой способ производства простых профилей, тем самым расширив линейку сортамента выпускаемой продукции.

Таким образом, на основе анализа известных конструкций устройств, реализующих способ непрерывного прессования «Конформ» предложено новое техническое решение, позволяющее развить этот способ за счет снятия ограничения по размерам и форме исходной заготовки, уменьшения нагрузки на матрицу, возможности регулировки величины активных сил трения в очаге деформации и благодаря этому снижения энергозатрат, расширить сортамент получаемых профилей.

Библиографический список

1. Данилин В.Н. Создание и основные этапы развития процесса прессования с активным действием сил трения / В.Н. Данилин // Кузнечно-штамповочное производство. – 2009. – № 9. – С. 30 – 37.
2. Johann Langerweger, Brian Maddock Das Conform – Verfahren // Technische Rundschau №24. 12 Juni. – 1994. – P. 17 – 19.
3. Сидельников С.Б. Моделирование совмещенного процесса непрерывного литья и прокатки – прессования цветных металлов и сплавов / С.Б. Сидельников, А.А. Катарева, Н.Н. Довженко // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2004. – №5. – С. 34 – 38.
4. Скотт К. Экструзионная установка Conform, алюминиевые отходы и космические технологии / К. Скотт // Цветные металлы. – 2001. – №6. – С. 91 – 93.

О ВЫТЯЖКЕ ТОНКОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ В СОСТОЯНИИ ПОЛЗУЧЕСТИ*

ПЕРЕТЯТКО В.Н., ПАНАМАРЕВ В.А., ЛАКТИОНОВ С.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Рассматривается следующая задача. Прямоугольная пластина малой толщины h , длина которой d значительно превышает ширину, равную $2L$, жёстко зажата по длинным краям. Воздействием внешних усилий требуется осуществить её вытяжку в состоянии ползучести в матрицу в форме параболического цилиндра. Определению подлежат необходимые для такого формообразования внешние усилия, в предположении, что деформация вдоль дуги параболического сегмента (направляющей цилиндра) является величиной постоянной.

Рассечём цилиндрическую оболочку в срединной части плоскостью, перпендикулярной её образующей. В сечении получим параболический сегмент с высотой D и основанием $2L$. В декартовой системе XY , ось ординат которой совпадает с осью симметрии этого сегмента, а ось абсцисс – с его основанием, уравнение дуги сегмента будет иметь вид

$$y = D - (D/L^2) \cdot x^2. \quad (1)$$

$$\text{Длина дуги сегмента } S = \int_{-L}^L \sqrt{1 + (y')^2} \cdot dx = \sqrt{L^2 + 4D^2} + \frac{L^2}{2D} \cdot \ln \left(\frac{2D + \sqrt{L^2 + 4D^2}}{L} \right).$$

Логарифмическая деформация вдоль этой дуги определится соотношением

$$\varepsilon_1 = \ln \left(\frac{S}{2L} \right) = \ln \left[\frac{\sqrt{L^2 + 4D^2}}{2L} + \frac{L}{4D} \cdot \ln \left(\frac{2D + \sqrt{L^2 + 4D^2}}{L} \right) \right]. \quad (2)$$

Логарифмическая деформация по нормали определится формулой

$$\varepsilon_3 = \ln(H/h), \quad (3)$$

где H – толщина оболочки.

Логарифмическую деформацию по длине оболочки в силу условий её закрепления положим равной нулю

$$\varepsilon_2 = 0. \quad (4)$$

Если деформирование заготовки задать таким образом, чтобы высота

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 11-08-00845-а.

параболического цилиндра D линейно возрастала со временем t :

$$D = \gamma \cdot t, \quad \gamma = \text{const}, \quad (5)$$

то скорость деформации ε_1 : $d\varepsilon_1/dt \equiv \xi_1$ определится выражением

$$\xi_1 = \frac{2\gamma^2 t \exp(-\varepsilon_1)}{L\sqrt{L^2 + (2\gamma t)^2}} - \frac{L \exp(-\varepsilon_1)}{4\gamma t^2} \cdot \ln \left(\frac{2\gamma t + \sqrt{L^2 + (2\gamma t)^2}}{L} \right) + \frac{L \exp(-\varepsilon_1)}{2t\sqrt{L^2 + (2\gamma t)^2}}. \quad (6)$$

Считая материал заготовки несжимаемым, подчиним деформации и их скорости соответственно соотношениям

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0 \quad \text{и} \quad \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 = 0, \quad (7)$$

где $\varepsilon_2 = 0$ и, соответственно, $\xi_2 = 0$.

Из этих соотношений следует $\varepsilon_3 = -\varepsilon_1$ и $\xi_3 = -\xi_1$. При этом толщина оболочки определится соотношением

$$H = h \cdot \exp(-\varepsilon_1), \quad (8)$$

а интенсивность скоростей деформаций $\xi_i = \sqrt{2/3} \cdot \sqrt{\xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2}$ примет вид $\xi_i = (2/\sqrt{3}) \cdot \xi_1$. Далее используем характерный для горячих металлов степенной закон ползучести

$$\xi_i = B\sigma_i^n, \quad (9)$$

где $\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$ – интенсивность напряжений; σ_1 – вдоль дуги сегмента, σ_2 – по длине и σ_3 – по нормали оболочки.

В силу малой толщины оболочки напряжение по нормали примем равным нулю:

$$\sigma_3 = 0. \quad (10)$$

В соответствии с законом (9) скорости деформаций ползучести и напряжения свяжем соотношениями

$$\xi_1 = B\sigma_1^{n-1}(\sigma_1 - \sigma_2/2), \quad \xi_2 = B\sigma_2^{n-1}(\sigma_2 - \sigma_1/2), \quad \xi_3 = -B\sigma_1^{n-1}(\sigma_1 + \sigma_2)/2. \quad (11)$$

Из второго соотношения (11) при условии $\xi_2 = 0$ следует равенство $\sigma_2 = \sigma_1/2$. При этом интенсивность напряжений принимает вид $\sigma_i = (\sqrt{3}/2)\sigma_1$. В этом случае, используя закона ползучести (9), можно выразить σ_1 через ξ_1 :

$$\sigma_1 = (2/\sqrt{3})^{(1+1/n)} B^{(-1/n)} \xi_1^{(1/n)}. \quad (12)$$

Нормальная составляющая внешнего усилия P определится формулой

$$P = K \cdot H \cdot \sigma_1, \quad (13)$$

где K – кривизна дуги параболы (1), определяемая выражением

$$K = \frac{|y''|}{[1 + (y')^2]^{3/2}} = \frac{2DL^4}{(L^4 + 4D^2x^2)^{3/2}}. \quad (14)$$

Согласно приведённым выражениям (2), (8) и (12) деформации, напряжения и толщина оболочки постоянны вдоль дуги параболы (1), они изменяются только по времени с изменением её высоты (5). Согласно выражениям (13) и (14) нормальная составляющая внешнего усилия P изменяется не только со временем, но и вдоль параболического сегмента в каждый фиксированный момент времени пропорционально изменению его кривизны (14). В силу постоянства величин H и σ_1 , вдоль дуги параболического сегмента касательная составляющая удельного внешнего усилия будет равна нулю.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 53.098

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ АЛЮМИНИЯ С РАЗНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ПРИМЕСЕЙ*

Литвиненко Н.Г., Загуляев Д.В., Коновалов С.В., Мясникова В.И.,
Комиссарова И.А., Громов В.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Измерение микротвердости используют для оценки механических свойств металлов и как метод физико-химического анализа. Измерение микротвердости также используют в малогабаритных изделиях, тонких поверхностных слоев, аморфных пленок, т.е. материалов, проведение стандартных механических испытаний с которыми затруднено или невозможно. Именно такие изделия наиболее чувствительны к различным внешним энергетическим воздействиям, одним из которых является воздействие магнитным полем, неизбежно присутствующим в сильноточном оборудовании.

Известно, что магнитное поле влияет на прочностные и пластические характеристики разнообразных диа- и парамагнитных материалов. Особенно эффективно магнитное поле влияет на ферромагнетики. Цель настоящей ра-

* Работа выполнялась при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г.г.» (Соглашение 14.В37.21.1166).

боты состоит в исследовании влияния примесей на механические характеристики алюминия при воздействии слабым магнитным полем.

В работе использовались образцы с разным содержанием железа и кремния, имеющие размеры $0,5 \times 2 \times 1 \text{ см}^3$. Образцы перед испытаниями отжигались при температуре 773 К в течение 2 часов с последующим охлаждением в печи, механически полировались и химически травились в растворе для выявления зеренной структуры материала.

В качестве источника магнитного поля использовали электромагнит, имеющий возможность регулирования индукции магнитного поля. Образцы располагались в магнитном поле таким образом, чтобы линии индукции были перпендикулярны стороне образца с размерами $2 \times 1 \text{ см}^2$ и пронизывали ее. Геометрия магнитного поля не изменялась во всех испытаниях. Индукция магнитного поля измерялась миллитесламетром с точностью до $1 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$ и составляла 300 мТл.

Измерения микротвердости проводились с помощью микротвердомера HVS-1000 для трех вариантов: без воздействия магнитного поля, сразу после выдержки в магнитном поле и после определенных интервалов времени; при этом варьировалось время выдержки в магнитном поле. Нагрузка на индентор во всех испытаниях составляла 10 мН, время нагружения, выдержки под нагрузкой и разгружения совпадало, и составляло 10 с. Измерения микротвердости проводили внутри зерна. Температура испытаний по всех экспериментах оставалась неизменной и составляла 298 К.

Количественно эффект влияния магнитного поля характеризовался относительным изменением микротвердости.

Установлено, что характер влияния магнитного поля заключается в снижении микротвердости с последующим возвращением ее значения к исходному. Однако для образцов алюминия с содержанием железа 0,59 % возвращение значения микротвердости к исходному происходит немонотонно.

Исследования характера поведения микротвердости при действии магнитного поля на алюминий с содержанием железа 0,001 %, показали, что начальный эффект составляет 5 % и затухает за время 5 часов.

Образцы алюминия с содержанием железа 0,26 % подвергались троекратному, двухчасовому воздействию магнитным полем. Анализ зависимостей показывает, что каждая последующая обработка приводит к снижению начального эффекта магнитного воздействия и времени, необходимого для достижения микротвердости исходного значения. Максимальный эффект магнитное поле оказывает при первом воздействии.

К настоящему времени установлено, что магнитное поле способно влиять на состояние точечных дефектов, в том числе атомы внедрения и замещения. В данной связи были исследованы зависимости относительного изменения микротвердости от массового содержания железа и кремния в образцах алюминия, при времени обработки магнитным полем 2 часа и 0,25 часа. Зависимости относительного изменения микротвердости от со-

держания железа и кремния в образцах алюминия имеют экстремальный характер при двухчасовой обработке магнитным полем. Максимальное снижение значения микротвердости наблюдается при содержании железа 0,26 % и кремния 0,069 %. При уменьшении времени воздействия магнитным полем с 2 часов до 0,25 часа характер зависимостей относительного изменения микротвердости от содержания железа и кремния меняется. В интервале значений $0,1255 \% < m < 0,26 \%$ эффект магнитного воздействия незначителен и составляет 1 %, что укладывается в погрешность измерения микротвердости. Дальнейшее увеличение массового содержания железа приводит к линейному возрастанию эффекта.

Известно, что в процессе пластической деформации происходят непрерывные взаимодействия дислокаций друг с другом и с точечными дефектами. Процесс пластической деформации сопровождается многократно повторяющимися химическими реакциями. Магнитное поле, воздействуя на ковалентную связь, переводит радикальную пару из синглетного состояния в триплетное, что облегчает ее разрыв, поскольку энергия, необходимая для разрыва радикальной пары находящейся в синглетном состоянии больше, чем в триплетном. Это, по-видимому, приводит к увеличению подвижности дислокаций, и как следствие, снижению микротвердости.

УДК 669.15:620.186:539.12

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА BT1-0 ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО КАРБОБОРИРОВАНИЯ*

**БАЩЕНКО Л.П., РАЙКОВ С.В., ИВАНОВ Ю.Ф.,
БУДОВСКИХ Е.А., ГРОМОВ В.Е.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В настоящее время разрабатываются новые методы поверхностного науглероживания титана с применением концентрированных потоков энергии, основная идея которых состоит в импульсном оплавлении и насыщении расплава углеродом с последующей кристаллизацией и образованием упрочняющей фазы карбида титана. Ранее было показано, что после науглероживания титана с использованием электрического взрыва углеграфитовых волокон по всей глубине зоны оплавления и легирования наблюдается структурно-свободный углерод в виде изолированных частиц, образующихся при

* Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (гос. контракт № 14.740.11.0813), грантами РФФИ (проекты № 11-02-91150-ГФЕН-а, № 11-02-12091-офи-м-2011) и госзадания Минобрнауки №2.4807.2011.

разрушении волокон. Такая структура обуславливает возможность ее дальнейшей модификации с целью растворения графита и увеличения содержания карбида титана. Цель настоящей работы – анализ особенностей структуры и распределения микротвердости по глубине образцов титана, подвергнутых электровзрывному карбоборированию.

В качестве материала основы был использован технически чистый титан ВТ1-0. Образцы имели форму шайб толщиной 5 и диаметром 20 мм. ЭВЛ осуществляли на установке ЭВУ 60/10. Инструментом воздействия на поверхность служила импульсная плазменная струя, сформированная из продуктов электрического взрыва углеродной ленты марки ЛУ-П/0,1-50 производства ООО «Аргон» (г. Балаково). В области взрыва размещали порошковую навеску порошка аморфного бора марки Б-99В массой m_b 50, 100 и 150 мг.

Исследование структуры обработанных образцов осуществляли путем анализа поперечных шлифов на сканирующем электронном микроскопе «LEO EVO 50». Анализ фазового состава и состояния дефектной субструктуры модифицированного слоя осуществляли методами просвечивающей электронной микроскопии тонких фольг. Микротвердость определяли с использованием прибора HVS-1000А с точностью $\pm 10 \%$.

Электровзрывное карбоборирование технически чистого титана ВТ1-0 приводит к созданию многослойной структуры. На поверхности обработки формируется многофазное (α -титан, β -титан, графит, частицы борида TiВ и карбида TiС титана) покрытие. Под покрытием располагается слой жидкофазного легирования, структура которого закономерным образом зависит от расстояния до поверхности обработки. На границе раздела поверхностного и переходного слоев выявлено формирование тонкого промежуточного слоя, обладающего повышенным значением микротвердости. Показано, что данный слой имеет структуру ячеистой и дендритной кристаллизации. Вдоль границ ячеек и дендритов располагаются наноразмерные частицы карбида титана.

Обработка сопровождается многократным (в ~ 20 раз) увеличением микротвердости поверхности (рисунок 1). Ее величина изменяется немонотонным образом в зависимости от расстояния до поверхности обработки: на глубине 50...60 мкм наблюдается первый объемный максимум, на глубине 100...110 мкм – второй. Толщина упрочненного поверхностного слоя достигает ~ 120 мкм.

Установлено, что первый и второй объемные максимумы, расположенные на глубине 50...60 мкм и 100...110 мкм, обусловлены формированием многофазной структуры высокоскоростной кристаллизации.

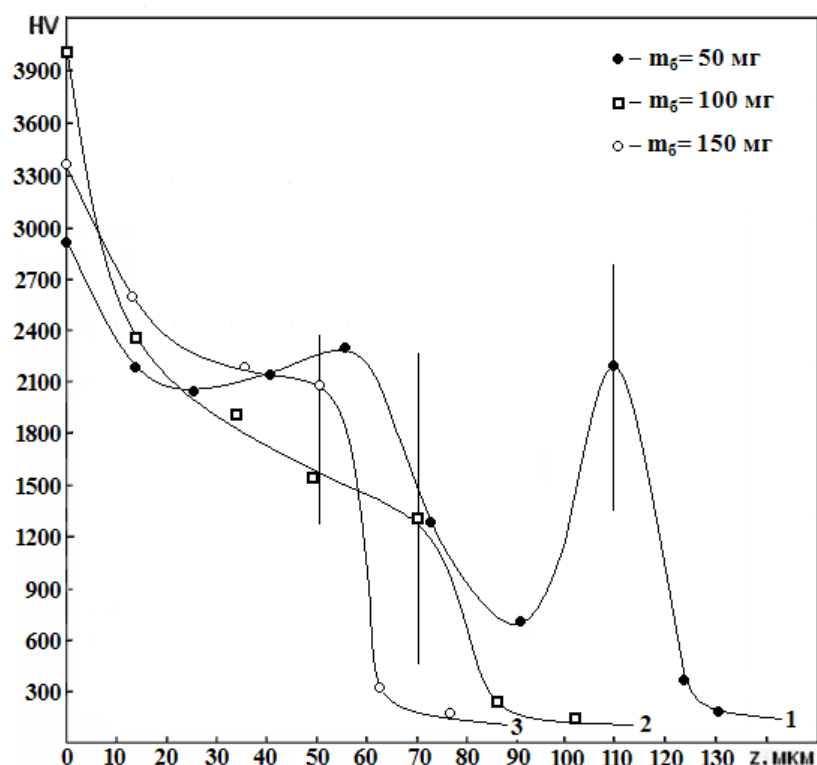


Рисунок 1 – Профили микротвердости образцов технического чистого титана BT1-0 после электровзрывного карбооборирования (вертикальными линиями обозначена толщина упрочненного поверхностного слоя)

УДК 533.9

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО НАСЫЩЕНИЯ ВОДОРОДОМ НА ЛОКАЛИЗАЦИЮ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ*

Косинов Д.А., Шляхова Г.В.*, Баранникова С.А.*, Зувев Л.Б.*,
Мясникова В.И., Громов В.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

**Институт Физики прочности и материаловедения СО РАН,
г. Томск*

Исследование водорода в металлах представляет значительный интерес, что вызвано широким спектром задач, решаемых в этой области. Проблемы, связанные с накоплением водорода в металле, рассматриваются как с

* Работа выполнена по проекту в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы по мероприятию: 1.1 «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области создания и обработки кристаллических материалов» (ГК № 14.740.11.0037 от 01.09.2010).

точки зрения материаловедения, так и энергетики. Известно, что пластическая деформация твердых тел развивается локализовано на всем протяжении процесса течения. Особенно эффектно она проявляется на макроскопическом масштабном уровне.

Твердые растворы на основе ГЦК железа составляют основу нержавеющих сталей, являющихся перспективным конструкционным материалом. Наводороживание поликристаллов аустенитных сталей приводит к хрупкому разрушению. Это обстоятельство является серьезной практической проблемой, от решения которой зависит безопасность работы конструкций.

В настоящей работе проведены исследования эволюции картин макролокализации пластического течения на разных стадиях деформационного упрочнения монокристаллов аустенитной нержавеющей стали в исходном состоянии и в результате электролитического насыщения водородом. В ориентированных вдоль оси $[\bar{1}11]$ монокристаллах пластическое течение реализуется дислокационными сдвигами, и при указанной ориентации следует ожидать развития множественного скольжения.

Установлено, что насыщение водородом $[\bar{1}11]$ монокристаллов привело к уменьшению предела текучести, увеличению пластичности до разрушения в 1,3 раза и подавлению образования шейки в кристаллах, ориентированных для множественного скольжения. Влияние водорода на пластичность монокристаллов и характер их разрушения зависит от ориентации оси растяжения. Наводороживание уменьшает энергию дефекта упаковки в исследуемом сплаве. Это приводит к увеличению величины расщепления дислокаций для ориентации кристаллов вблизи полюса $[\bar{1}11]$ элементарного стереографического треугольника при деформации растяжением. Это обстоятельство способствует развитию неустойчивости пластического сдвига и его локализации в одной из шести равноправных систем скольжения $\langle 110 \rangle \{111\}$. Насыщение водородом почти не изменяет коэффициент деформационного упрочнения на стадии линейного деформационного упрочнения, что характерно для ГЦК материалов при дополнительном легировании.

Анализ распределений локальных деформаций ε_{xx} при растяжении монокристаллов аустенитной нержавеющей стали, электролитически насыщенных водородом в течение 70 часов показал, что на площадке текучести сформировалась одиночная зона локализованной деформации, разделяющая деформированную и недеформированную части материала. На стадии линейного деформационного упрочнения картина локализации пластической деформации представляет собой совокупность широких зон. На стадии параболического деформационного упрочнения система широких зон локализации деформации становится стационарной. На стадии предразрушения неподвижные очаги локализованной пластической деформации начинают согласованное движение с тенденцией к их слиянию в высокоамплитудных очагах локализации деформации в средней части образца, где произошло уменьшение размеров поперечного сечения, подобное шейке. Трещина зародилась в

наводороженном образце вблизи подвижного захвата. Можно предположить, что легирование водородом $[\bar{1}11]$ стали Fe-18Cr-12Ni-2Mo привело к усилению локализованной деформации скольжением в одной из шести систем скольжения $\langle 110 \rangle \{111\}$ и подавлению шейки, сформировавшейся первоначально в средней части образца. Металлографический анализ макроструктуры на стадии предразрушения показал, что на всей поверхности монокристаллов образуются деформационные полосы.

Таким образом, в настоящей работе установлено на разных масштабных уровнях влияние водорода на картины локализации пластического течения $[\bar{1}11]$ монокристаллов аустенитной стали Fe-18Cr-12Ni-2Mo при растяжении. Установлено, что наводороживание образцов усиливает локализацию деформации, приводит к значительным перестройкам в масштабах характерных расстояний между полосами пластических сдвигов и зон локализованной деформации, и может быть результатом междислокационных взаимодействий и генерации точечных дефектов.

УДК 669.15:620.186:539.12

СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ ТИТАНА ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО НАУГЛЕРОЖИВАНИЯ С КАРБИДОМ КРЕМНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ*

**РАЙКОВ С.В., СОСКОВА Н.А., ИВАНОВ Ю.Ф., ИОНИНА А.В.,
БУДОВСКИХ Е.А., ГРОМОВ В.Е.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

Практическое использование обработки поверхности материалов концентрированными потоками энергии в последние десятилетия увеличивается опережающими темпами. Электровзрывное легирование (ЭВЛ) – один из способов модификации структуры и свойств поверхностных слоёв металлов и сплавов с целью их упрочнения. Возможности ЭВЛ могут быть усилены сочетанием этого вида обработки с электронно-пучковой обработкой (ЭПО) поверхности низкоэнергетическими сильноточными электронными пучками. Целью настоящей работы является обнаружение закономерностей эволюции

* Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (гос. контракт № 14.740.11.0813), грантами РФФИ (проекты № 11-02-91150-ГФЕН-а, № 11-02-12091-офи-м-2011) и госзадания Минобрнауки №2.4807.2011.

структуры и свойств поверхностного слоя титанового сплава ВТ6, подвергнутого двойной обработке, сочетающей легирование продуктами электрического взрыва углеграфитовых волокон с навеской частиц порошка карбида кремния, размещённой в области взрыва, и последующее облучение электронным пучком.

Образцы для обработки имели форму шайбы толщиной 10 и диаметром 15 мм. Дополнительную электронно-пучковую обработку осуществляли на установке «СОЛО» (ИСЭ СО РАН, г. Томск). Исследования элементного и фазового состава, дефектной субструктуры поверхностного слоя осуществляли методами сканирующей и электронной дифракционной микроскопии, рентгеноструктурного анализа; физико-механические свойства поверхностного слоя изучали, измеряя микротвердость.

Показано, что ЭВЛ приводит к модифицированию поверхности и формированию поверхностного слоя, неоднородного по толщине, элементному составу, структурно-фазовому состоянию. Последующая ЭПО, позволяет формировать плотные, с зеркальным блеском поверхностные слои, обладающие субмикро- и нанокристаллической многофазной структурой, характеризующиеся высоким уровнем однородности по легирующим элементам.

Методами электронной дифракционной микроскопии показано, что в легированном слое титанового сплава ВТ6 формируется многофазная поликристаллическая структура с внутризеренной структурой пластинчатого типа субмикро- и наноразмерного диапазона (поперечные размеры пластин 10...30 нм). Частицы вторых фаз глобулярной формы располагаются преимущественно по границам и в стыках границ зерен и субзерен.

Методами рентгеноструктурного анализа установлено, что в титановом сплаве ВТ6 после ЭВЛ основной фазой является α -Ti (~65 %); дополнительные фазы – TiC, SiC и TiSi₂, Ti₃SiC₂. После облучения электронным пучком модифицированного слоя образцов наблюдается увеличение суммарного содержания вторых фаз с ростом плотности энергии пучка электронов, максимальная суммарная объемная доля которых (~73 %) фиксируется при плотности энергии пучка электронов 50 Дж/см².

Показано (рисунок 1), что при легировании титанового сплава ВТ6 максимум микротвердости достигается в подповерхностном слое на глубине 5...8 мкм и превышает микротвердость объема в 5,5...6,0 раз. Толщина упрочненного слоя составляет ~40 мкм. После ЭПО легированного слоя максимальное значение микротвердости поверхностного слоя превышает микротвердость сердцевины образца в ~3,5 раза. При этом общая толщина зоны упрочнения составляет ~80 мкм.

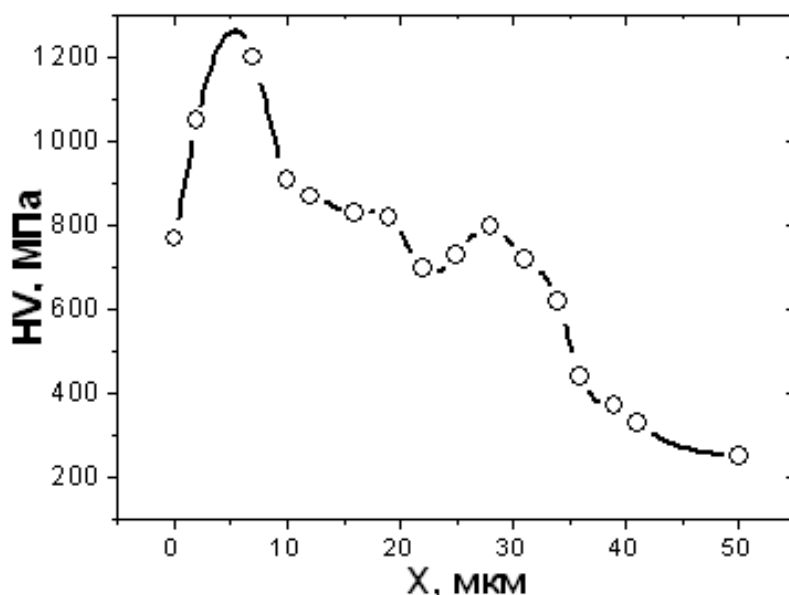


Рисунок 1 – Профиль микротвердости образца титанового сплава ВТ6, модифицированного путем электровзрывного науглероживания совместно с навеской порошка карбида кремния SiC

УДК 669.15:620.186:539.12

ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОЕ НАУГЛЕРОЖИВАНИЕ С ДИБОРИДОМ ТИТАНА ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6 И ПОСЛЕДУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВАЯ ОБРАБОТКА*

РАЙКОВ С.В., СОСКОВА Н.А., ИВАНОВ Ю.Ф., ВАЩУК Е.С.,
БУДОВСКИХ Е.А., ГРОМОВ В.Е.

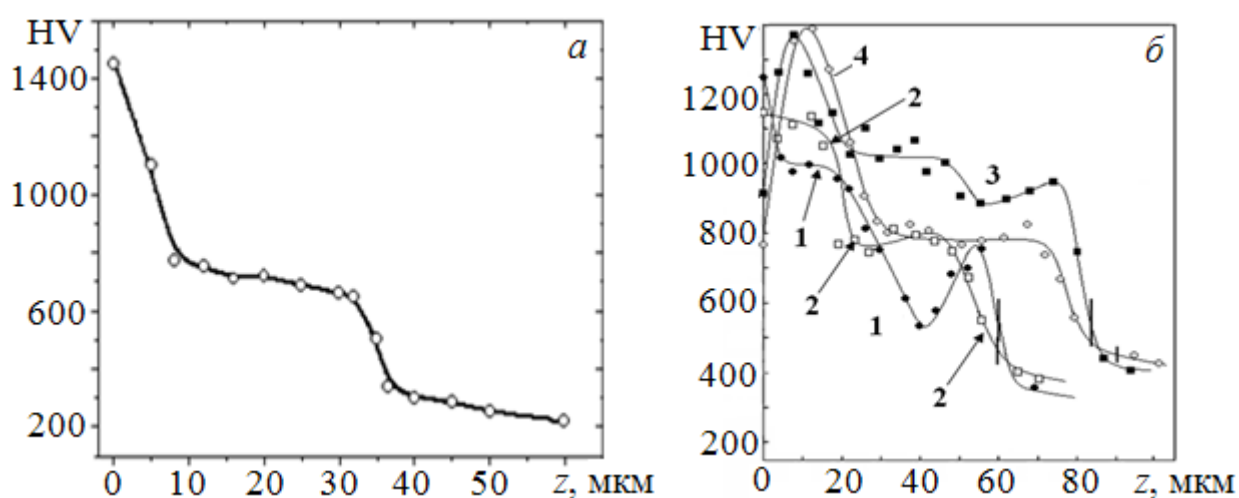
*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

С развитием новой техники совершенствуются методы и способы формирования композиционных материалов и покрытий. Перспективным методом формирования композиционных покрытий является комбинированный метод, включающий электровзрывное легирование (ЭВЛ) металлов и сплавов и электронно-пучковую обработку (ЭПО). Целью работы является выявление закономерностей упрочнения поверхностного слоя титанового сплава ВТ6, подвергнутого ЭВЛ и ЭПО.

* Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (гос. контракт № 14.740.11.0813), грантами РФФИ (проекты № 11-02-91150-ГФЕН-а, № 11-02-12091-офи-м-2011) и госзадания Минобрнауки №2.4807.2011.

Изменение прочностных характеристик модифицированного слоя анализировали, определяя микротвердость поверхности облучения и строя профили микротвердости. Тестирование осуществляли по косым шлифам (поверхность шлифа наклонена к поверхности обработки на $\sim 7^\circ$).

Распределение микротвердости по глубине зоны ЭВЛ титанового сплава ВТ6 представлено на рисунке 1. Максимум микротвердости достигается на поверхности легирования и превышает микротвердость объема в 6,6 раз. Толщина упрочненного слоя составляет ~ 50 мкм. Профиль микротвердости изменяется немонотонным образом: в поверхностном слое толщиной (8...10) мкм микротвердость снижается в $\sim 2,0$ раза, далее выявляется протяженное (~ 25 мкм) плато с высоким уровнем микротвердости (~ 700 МПа). При большем удалении от поверхности электровзрывного легирования микротвердость модифицированного слоя быстро снижается.



режим 1: 45 Дж/см^2 , 100 мкс, 10 имп., $0,3 \text{ с}^{-1}$;
 режим 2: 50 Дж/см^2 , 100 мкс, 10 имп., $0,3 \text{ с}^{-1}$;
 режим 3: 60 Дж/см^2 , 100 мкс, 10 имп., $0,3 \text{ с}^{-1}$;
 режим 4: 45 Дж/см^2 , 200 мкс, 20 имп., $0,3 \text{ с}^{-1}$

Рисунок 1 – Распределение микротвердости по глубине поверхностного слоя титанового сплава ВТ6 после электровзрывного науглероживания совместно с порошковой навеской диборида титана (а) и последующей ЭПО (б)

Последующая обработка легированного слоя титанового сплава ВТ6 высокоинтенсивным электронным пучком сопровождается существенным изменением как микротвердости поверхности легирования, так и профиля микротвердости. После ЭПО наблюдается снижение микротвердости поверхностного слоя, по сравнению с образцом после ЭВЛ (рисунок 1) Микротвердость поверхности модифицирования существенно зависит от режима ЭПО и изменяется в пределах от 1260 МПа (режим 1) до 770 МПа (режим 4). Максимального значения микротвердости, более чем в 6 раз превышающего величину микротвердости объема образца, достигает в приповерхностном

слое на глубине (10...15 мкм). ЭПО приводит к формированию объемных максимумов микротвердости. Толщина упрочненного слоя увеличивается до 100 мкм. Увеличение плотности энергии пучка электронов с 45 Дж/см² до 60 Дж/см² при постоянном общем времени обработки (100 мкс, 10 имп.) приводит к увеличению толщины упрочненного слоя с 70 мкм до 100 мкм. Увеличение времени облучения (со 100 мкс, 10 имп. до 200 мкс, 20 имп.) при плотности энергии пучка электронов 45 Дж/см² приводит к снижению микротвердости поверхностности обработки в ~1,6 раза; формированию приповерхностного максимума микротвердости и увеличению толщины упрочнения слоя в ~1,3 раза.

Таким образом, ЭВЛ титанового сплава ВТ6 (УГВ с навеской порошка диборида титана) позволяет многократно (более чем в 6,6 раз) увеличить микротвердость поверхности модифицирования при общей толщине упрочненного слоя ~50 мкм. Последующая обработка легированного слоя высокоинтенсивным импульсным электронным пучком при оптимальном режиме облучения (60 Дж/см², 100 мкс, 10 имп., 0,3 с⁻¹) приводит к повышению микротвердости поверхностного слоя более чем в 6 раз (по отношению к микротвердости объема образца) при общей толщине упрочненного приповерхностного слоя более 100 мкм.

УДК 533.9

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ, ПРОИСХОДЯЩИХ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НИКЕЛЯ*

**ДЯБДЕНКОВ В.В.¹, МИКРЮКОВ В.Р.¹, ПОЛЕТАЕВ Г.М.²,
СТАРОСТЕНКОВ М.Д.², ГРОМОВ В.Е.¹, МЯСНИКОВА В.И.¹**

**¹Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк**

**²Алтайский государственный технический университет
г. Барнаул**

В последнее время большое внимание уделяется металлическим материалам с очень малым размером зерен – ультрамелкозернистым материалам со средним размером зерен от 10 до 100 нм. Их получают путем интенсивной пластической деформации, конденсацией из газовой фазы. Повышенный интерес к ним связан с их уникальными физико-механическими свойствами. Они имеют высокие прочностные свойства, более пластичны, чем обычные поликристаллы, обладают уникальными тепловыми и магнитными свойствами, относительно высоким коэффициентом самодиффузии и т.д. Наличие

* Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ №12-08-06055-г, №12-02-98000-р_сибирь_a, №12-01-06067-г, №12-08-98046-р_сибирь_a.

этих свойств обусловлено, как считает большинство исследователей, относительно высокой плотностью границ зерен и тройных стыков. В настоящей работе была поставлена задача изучить атомную структуру тройных стыков, получающихся в результате кристаллизации из расплава на примере двухмерной модели. Помимо обозначенной задачи в настоящей работе дополнительно рассматривались следующие вопросы: статистика мало- и большеугловых границ зерен в процессе кристаллизации, динамика их трансформации при последующей структурной релаксации; дефекты, сопутствующие кристаллизации; последовательность структурных превращений при кристаллизации и последующей релаксации.

Исследования проводились на примере никеля. Для изучения атомной структуры расчетных блоков в настоящей работе использовался визуализатор свободного объема. Визуализация свободного объема осуществлялась путем расчета среднего расстояния от каждого атома до ближайших атомов. Помимо границ зерен в расчетном блоке, полученном сразу после сверхбыстрого охлаждения, присутствовал ряд других дефектов: вакансии, поры, отдельные дислокации, дисклинации. Междоузельные атомы, как правило, не наблюдались. Это вызвано относительно высокой энергией образования и низкой энергией миграции междоузельных атомов. Тройные стыки границ зерен практически во всех случаях не обладали структурными особенностями, выделяющими их как особые дефекты. Из полученных данных следует, что тройные стыки границ наклона являются продолжением и частью образующих их границ зерен. В целом, углы между границами в стыке определяются «натяжением» границ, которое в свою очередь определяется их энергией образования.

В структуре двухмерного металла, полученной сразу после сверхбыстрого охлаждения, наблюдалась высокая концентрация различных дефектов. В течение релаксации многие дефекты были сорбированы границами зерен или вышли на свободные границы расчетного блока. При рассмотрении последовательности структурных изменений при релаксации было отмечено, что интенсивнее трансформируются и участвуют во взаимодействии с другими дефектами большеугловые границы. По всей видимости, это связано с более высокой энергией таких границ по сравнению с малоугловыми. В результате релаксации при начальной температуре 0 К в течение 10 пс исчезло маленькое зерно, окруженное до этого большеугловой границей. На месте, где было зерно, осталась вакансия. Кроме этого, залечилась пора вблизи границы, переместилась дислокация, уменьшились длины некоторых большеугловых границ. В течение последующей релаксации при температуре около 300 К в течение 5 пс исчезло еще одно маленькое зерно, границы зерен еще более выпрямились и уменьшили свою длину. Кроме того исчезли дисклинации и часть вакансий. Интересным моментом при структурообразовании в течение релаксации являлось вращение некоторых зерен относительно других. В процессе дальнейшей релаксации длина границ как большеугловых, так и малоугловых, уменьшалась, дефекты сорбировались границами, неко-

торые зерна испытывали вращение. Следует заметить, что при кристаллизации и последующей структурной релаксации чаще вращались те зерна, которые контактировали со свободной поверхностью.

Таким образом, как показало молекулярно-динамическое исследование кристаллизации на примере двухмерной модели никеля, тройные стыки границ наклона не являются особыми дефектами, то есть не содержат никаких структурных особенностей, выделяющих их на фоне образующих эти стыки границ зерен. По сути, они являются не более чем продолжением и частью этих границ. Следует, конечно, заметить, что сделанные в настоящей работе выводы относятся к равновесным стыкам границ наклона, когда как большинство границ в поликристаллах, как правило, общего типа. Следующим этапом, очевидно, должно быть исследование структуры тройных стыков общих границ. В настоящей работе было также получено, что в процессе структурной релаксации, сопровождающей кристаллизацию, интенсивнее трансформируются большеугловые границы. Кроме того, в процессе кристаллизации и роста зерен, помимо миграции границ, участвовал дополнительный механизм – вращение зерен.

СВАРКА: НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.791

ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СВАРЩИКОВ

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

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

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 раз-

делки 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 1), состоящий из следующих элементов: 1 – экран; 2 – лампа; 3 – имитатор электрододержателя; 4 – наушники; 5 – блок приёма сигнала.

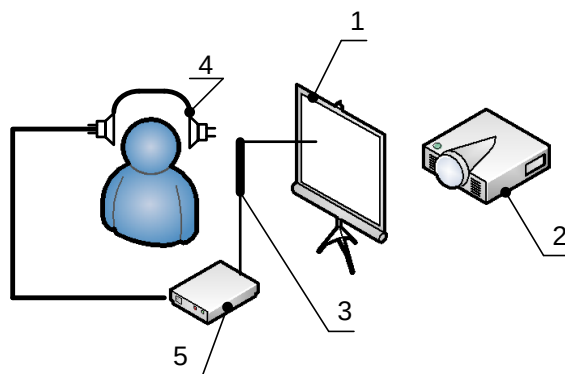


Рисунок 1 – Принципиальная схема тренажёра

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 1 с 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 девизуализируют 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 доро-

гих 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 сварщиков при предварительной подготовке для аттестации сварщиков показала, что после проведения обучения сварщиков в группах без применения тренажера количество стыков контрольных образцов сварных швов, удовлетворяющих качественным показателям, составляло 45 – 50 %, а при обучении с тренажером количество образцов сварных швов, удовлетворяющих требованиям качества, составляло 87 – 95 %. На тренажер получен патент РФ*.

УДК 621.791.75.037

ВЛИЯНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ НА ГЕОМЕТРИЮ ШВА ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

ЧИНАХОВ Д.А., МАЙОРОВА Е.И.

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального
исследовательского Томского политехнического университета
г. Юрга*

Сварочные процессы протекают при высокой температуре по сложным физико-химическим законам. Совокупность различных факторов и явлений определяет качество сварных соединений. Особенно сильно это влияние сказывается при сварке сталей склонных к закалке формирование структуры и фазового состояния металла зависит от его химического состава и условий теплового воздействия, зависящих при прочих равных условиях от режима и условий сварки [1, 2].

Применение легированных сталей средней и высокой прочности в промышленности позволяет повысить несущую способность конструкции при одновременном снижении ее металлоемкости. Склонность легированных сталей к закалке и образованию холодных трещин при сварке заставляет исследователей искать новые пути получения качественных равнопрочных сварных соединений [3]. Все известные подходы к управлению свойствами и геометрией сварных швов при сварке плавящимся электродом можно разделить на металлургические, технологические и энергетические.

Цель работы – изучить влияние газодинамики на геометрию шва и

* Пат. 2447515 РФ, МПК ⁷ G09B19/24 Тренажер для обучения электродуговой сварке/Шурупов В.М., Козырев Н.А. - № 2011104516/12(006345), Заявл. 08.02.2011.

свойства соединений при сварке плавящимся электродом.

Особенностью газовой динамики, отличающей её от классической аэродинамики, являются условия, при которых сжимаемость газа становится существенным фактором, влияющим на его уравнение состояния и, соответственно, поведение. Например, процессы в газовых средах, сопровождающиеся экзотермическими (горение, взрыв) или эндотермическими (диссоциация) химическими реакциями: в этих случаях из-за изменения средней молекулярной массы газа и процессов энерговыделения модель идеального газа неприменима [4]. Изменение способа и состава газовой защиты оказывает влияние на стабильность горения сварочной дуги, а соответственно, и на свойства сварного шва и его геометрию.

Основными управляющими параметрами, влияющими на геометрию сварного шва, являются: величина, плотность, полярность и род сварочного тока; напряжение дуги; скорость сварки; площадь сечения (диаметр) электрода. Дополнительные параметры: толщина и состав электродного покрытия; вылет сварочной проволоки; положение электрода и изделия при сварке; размер зерен сварочного флюса и его состав; способ газовой защиты.

С повышением сварочного тока возрастает глубина провара, а ширина шва практически не изменяется. С увеличением напряжения дуги ширина шва резко возрастает, глубина провара уменьшается. Также снижается и выпуклость (высота усиления) шва. При сварке на постоянном токе (в особенности обратной полярности) ширина шва будет гораздо больше, чем при сварке на переменном токе с таким же значением напряжения. С возрастанием скорости сварки ширина шва уменьшается, а глубина провара сначала увеличивается (до скорости 40 – 50 м/ч), а затем понижается. С уменьшением диаметра проволоки (при прочих равных условиях) возрастает плотность тока в электроде, что приводит к росту глубины провара и выпуклости шва, но при этом снижается ширина шва. Таким образом, при уменьшении диаметра проволоки можно получить более глубокий провар при неизменной силе тока или такой же провар при меньшей силе тока.

Авторы работ [4, 6, 7] проводили исследования по влиянию изменения потоков защитного газа на процесс сварки плавящимся электродом и отмечают, что с увеличением скорости истечения газа происходит улучшение качества защиты зоны сварки, формирования сварного шва, стабильности процесса сварки.

По результатам проведенных ранее исследований установлено, что изменение способа газовой защиты, т.е. газодинамики в зоне сварки, оказывает воздействие на процессы в зоне сварки, свойства сварного соединения, химический состав и геометрию шва. Это дает предпосылки для проведения исследований по изучению управления геометрией сварного шва струей защитного газа.

Библиографический список

1. Миходуй Л.И., Гончар А.К. ,Особенности сварки толстолистовых конст-

- рукций из низколегированных высокопрочных сталей // Автоматическая сварка. 1990. - № 10. С. 41-45.
2. Сараев Ю.Н., Чинахов Д.А., Шпигунова О.И. Способы повышения трещиностойкости сварных соединений легированных сталей типа 30 ХГСА.// Технология машиностроения. – 2001. - № 1. – С 35-39.
 4. Роль газодинамического воздействия струи защитного газа на процессы сварки плавящимся электродом: монография / Д.А. Чинахов; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 151 с.
 5. Дейч М.Е. Техническая гидродинамика. – М.: Энергия, 1974.
 6. Федько В.Т., Киянов С.С., Шматченко В.С., Сапожков С.Б. Применение двухструйных сопловых устройств для сварки в среде защитных газов/ Автоматизация и современные технологии. 2003. № 3. С. 12-18.
 7. Штрикман М.М., Павлов А.С., Сабанцев А.Н., Егоров В.Н. Дуговая сварка с воздействием на сварочную ванну направленных газоструйных потоков/ Сварочное производство. 1999. № 12 С. 3-6.

УДК 621.791

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ КРЕПЛЕНИЯ СОПЛА НА СВАРОЧНОЙ ГОРЕЛКЕ

Филонов А.В., Микулич А.Е.

*Юргинский технологический институт (филиал)
Томского политехнического университета
г. Юрга*

За последнее десятилетие, в связи с приходом на отечественный рынок сварочного оборудования иностранных фирм-производителей, массовое распространение получили горелки с комбинированными и цанговыми соплами (рисунок 1). В горелках с комбинированными соплами (рисунок 1, а, б) изоляционной втулки, как отдельного элемента, нет вообще либо она выполнена за одно целое с соплом. Известно несколько вариантов реализации такой конструкции, например, корпус газового сопла неразъёмно соединён завальцовкой с термостойкой изоляцией и внутренней резьбовой (рисунок 1, б) [1] или без резьбовой втулкой (рисунок 1, а). Другой вариант предусматривает установку внутренней втулки в термостойкую изоляцию, которая, в свою очередь, запрессована в сопло (рисунок 1, б).

Изменение конструкции сопел привело к изменению их крепления к головной части горелки. Так сопла с завальцованной термостойкой изоляцией (рисунок 1, а) в зависимости от конструкции внутренней втулки фиксируются либо при помощи специального пружинного элемента, установленного на мундштуке, либо при помощи резьбового соединения. Сопла с запрессованной в термостойкую изоляцию внутренней втулкой (рисунок 1, б) закрепляются подобным же образом.

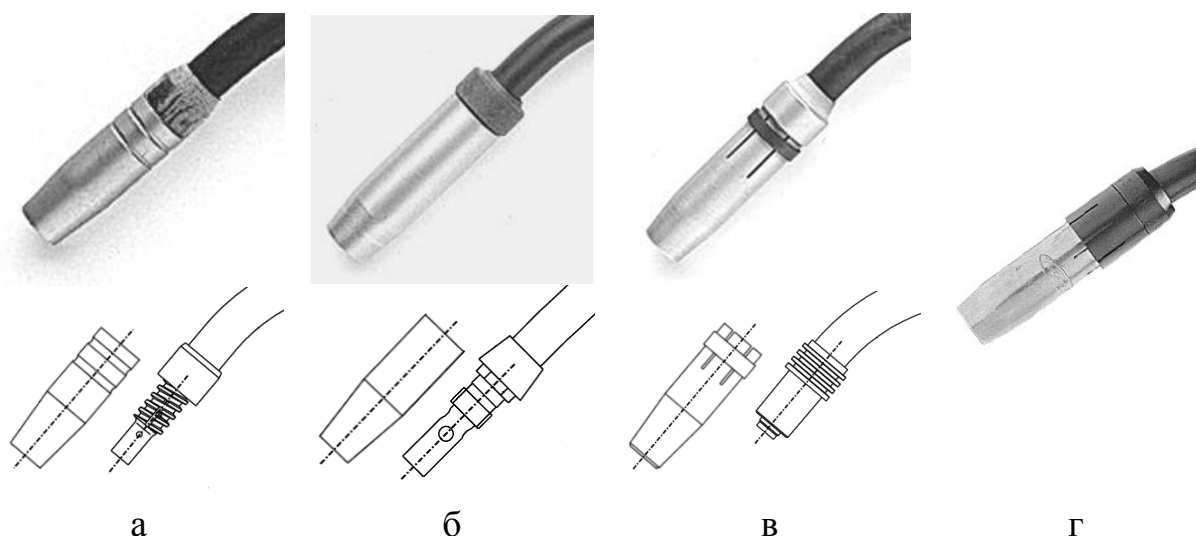


Рисунок 1 – Сопла к сварочным горелкам

Широкое применение получила конструкция, в которой газовое сопло изготавливается по принципу цанги (рисунок 1, в), т.е. хвостовая часть делается разрезной – разделённой на лепестки. Зажим осуществляется лепестками сопла под действием осевого усилия, приложенного к конической части мундштука горелки. Для увеличения усилия прижатия лепестки охватывают закрепительным пружинным кольцом. Существует вариант двухцангового закрепления [2], который приведён на рисунке 1, г. В нём используются сопла без закрепительного кольца.

Описанные конструкции сопел и варианты их крепления имеют как свои плюсы, так и минусы. К плюсам можно отнести надёжность крепления и фиксации сопла, отсутствие крепёжных элементов виде винтов, большой ресурс работы. Минусами сопел, представленных на рисунке 1, а, б, являются повышенные требования к точности изготовления, а именно, обеспечение соосности конструктивных элементов на стадии производства. Это сказывается на стоимости изделия в сторону удорожания.

Другой недостаток выявляется в процессе эксплуатации – наблюдается процесс припекания резьбового соединения внутренней втулки к мундштуку горелки (рисунок 1, б), что приводит к выходу из строя как мундштука, так и сопла, а, следовательно, и к увеличению объёмов реновации этих элементов сварочных горелок.

Ещё один недостаток проявляется при очистке сопла от налипших брызг. Из-за надёжности крепления и разогрева нет возможности быстро снять и очистить забрызганное сопло без механического инструмента. Использование инструмента приводит к нарушению целостности сопла и, как следствие, сокращению времени забрызгиваемости при дальнейшей его эксплуатации, что, в свою очередь, увеличивает время, уходящее на зачистку.

Анализ отечественных и зарубежных информационных источников показывает, что при механизированной сварке в углекислом газе сварке в

основном применяют медные сопла. При сварке сопло горелки подвергается тепловому нагреву за счёт сварочной дуги, а также из-за контакта с брызгами расплавленного металла. Следствием этих воздействий является износ и повышенный расход сопел в процессе эксплуатации, что не может не сказаться на конечной цене выпускаемого изделия. Кроме того, замена износившихся деталей и зачистка сопла приводят к потерям рабочего времени. Данные факты нужно учитывать в вопросах реновации и возможной модернизации отдельных элементов сварочного оборудования.

Библиографический список

1. Tajbl F., Stener M. Hitzebeständige Düse für das Schweißen mit abschmelzender Elektrode // Auslegungsschrift 1 440 432 (BDR). 1970.
2. MIG/MAG Сварочные горелки // Электронный ресурс: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-EDE7D94F-8451A585/fronius_ukraine/hs.xsl/2510_2792.htm.

УДК 621.791

МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

СТЕПАНОВ А.П., СОТОКИНА Ю.В.

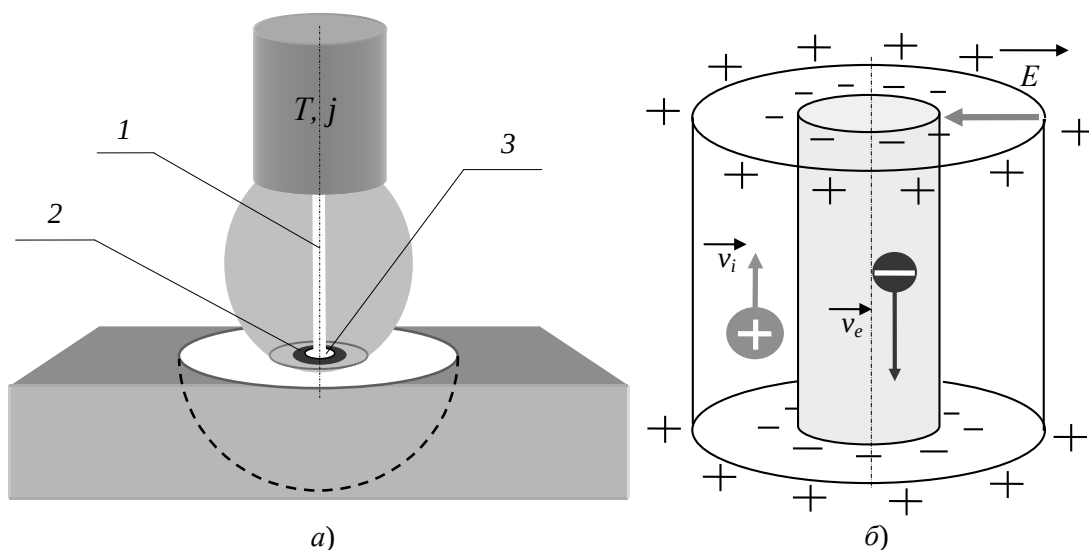
*Юргинский технологический институт (филиал) Национального
исследовательского Томского политехнического университета
г. Юрга*

При исследовании и разработке технологий электродуговой сварки актуальным является выбор модели дуги, которая отражала бы наиболее полную картину физических процессов, происходящих в электрической сварочной дуге.

Известны следующие модели дуги, которые используют при описании физических процессов при сварке: каналовая модель Штеенбека [1]; двухтемпературная модель [2]; математическая модель динамической электрической дуги [3]; термическая модель [4]; цилиндрическая модель столба дуги [5]; конусная модель [6].

Их основные недостатки: описывают дугу только в стационарном состоянии; описывают явления в дуге на основе плазменных представлений; отсутствует целостность, единство подхода при описании процессов в столбе дуги, приэлектродных процессах и катодных явлениях и др. Убедительного теоретического описания электрической дуги, которое бы объясняло имеющиеся экспериментальные результаты, до сих пор не существует.

Для объяснения физических процессов происходящих при сварке была разработана электродинамическая вихревая модель дуги (рисунок 1, а).



а) электродинамическая вихревая модель электрической сварочной дуги;

б) вихревой биполярный токопроводящий канал электрической дуги;

1 – биполярный токопроводящий канал; 2 – катодное пятно;

3 – эмиссионный центр

Рисунок 1 – Электродинамическая вихревая модель дуги

Сущность этой модели заключается в том, что при возбуждении дуги в плазменном столбе возникает *поляризация*, т.е. столб электрической сварочной дуги не является однородным. Между катодом и анодом при зажигании возникает течение электронов с микронеровностей катода – электронный шнур, который замыкает цепь тока столба дуги.

Электронный токопроводящий шнур обладает объемным отрицательным зарядом. В соответствии с законом притяжения зарядов разной полярности, к нему будут притягиваться положительно заряженные частицы – ионы, которые образовались в результате ионизации межэлектродного промежутка при возбуждении дуги. В итоге образуется *биполярный токопроводящий канал*. Движение электронов и ионов в этом канале происходят в разные стороны (рисунок 1, б). Такое совместное двунаправленное движение электронов и ионов канала проводимости образует систему динамического цилиндрического коаксиального конденсатора, поперечные размеры которого много меньше продольных. Токопроводящий канал представляет собой вихревое, спиральное движение частиц и все эффекты и явления сварочной дуги, как показывают исследования, определяются параметрами и поведением этого канала.

Если в электродинамической вихревой модели дуги (рис. 1, а) усреднить температуру $T(r)$ и плотность тока $j(r)$ в пределах некоторого радиуса $r_{\text{эфф}}$ столба дуги, то она превращается в *канальную модель* электрической сварочной дуги. Таким образом, канальная модель является частным случаем электродинамической вихревой модели дуги.

Аналогично, все известные модели [1 – 6] являются *частными случаями*

ми вихревой электродинамической модели дуги, т.е. их можно получить из нее, вводя те или иные упрощения, усреднение и т.п. В тоже время получить электродинамическую модель как частный случай любой из известных моделей дуги нельзя. Это означает, что вихревая электродинамическая модель является более глубокой, фундаментальной моделью электрической сварочной дуги. Данная модель дуги отражает реальные физические процессы, происходящие в дуге, и представляет научную ценность как для специалистов по электродуговым генераторам, так и для специалистов-сварщиков.

Библиографический список

1. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга / Г.И. Лесков // М.: Машиностроение, 1970. – С. 335.
2. Лелевкин В.М., Мечев В.С., Семенов В.Ф. Двухтемпературная модель столба сварочной дуги // Автоматическая сварка. – 1990. – № 6. – С. 10–14.
3. Пентегов И.В. Математическая модель столба динамической электрической дуги. // Автоматическая сварка. – 1976. № 6. – С. 8–12.
4. Шельгазе М. Математическая модель переходных процессов в сварочной дуге и ее исследования // Автоматическая сварка. – 1971. – № 7.
5. Гвоздецкий В.И. Численное решение уравнения баланса столба цилиндрической дуги / В.И. Гвоздецкий, В.А. Зражевский // Автоматическая сварка. – 1975. – № 6. – С. 5–8.

УДК 621.791.65

ОБЛАСТИ УПРАВЛЯЕМОГО ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА

КРАМПИТ А.Г., КРАМПИТ Н.Ю., КРАМПИТ М.А.

*Юргинский технологический институт (филиал)
Томского политехнического университета
г. Юрга*

В статье приведены результаты исследований процесса сварки в CO_2 при импульсном питании длинной дугой.

Для исследования влияния параметров импульсов на плавление и перенос электродного металла в среде углекислого газа проводили наплавку валиков на пластины стали Ст3, размерами $300 \times 150 \times 10$ мм, проволокой диаметром 1,2 мм. Расход углекислого газа, вылет электрода и скорость сварки поддерживались постоянными и составляли, соответственно, 15 л/мин, 6 мм и 20 – 25 м/ч.

Энергия, определяющая плавление и перенос капли в момент действия импульса, зависит от следующих параметров: длительности импульса, постоянной времени сварочной цепи, амплитуды импульса. С целью нахождения

ния взаимосвязи параметров, определяющих энергию импульса, проведены исследования по выявлению области режимов с управляемым переносом электродного металла.

На рисунке 1 представлена область режимов, ограниченная кривыми 1 и 2, с управляемым переносом электродного металла.

Ограничение области режимов при малой длительности импульсов связано с более интенсивным изменением характеристик плавления и переноса электродного металла. Так, увеличение амплитуды импульсов приводит к значительному изменению сил, действующих на каплю, увеличивается скорость полета и воздействие ее на сварочную ванну, что ухудшает формирование металла шва. При значениях амплитуды выше кривой 1 капли могут разрываться на электроде, при этом увеличивается разбрызгивание электродного металла. Необходимо отметить, что увеличение амплитудного значения тока приводит к подбрасыванию оставшегося на торце плоского металла вверх по электроду. Это также может являться причиной повышения разбрызгивания и нарушения устойчивости процесса.

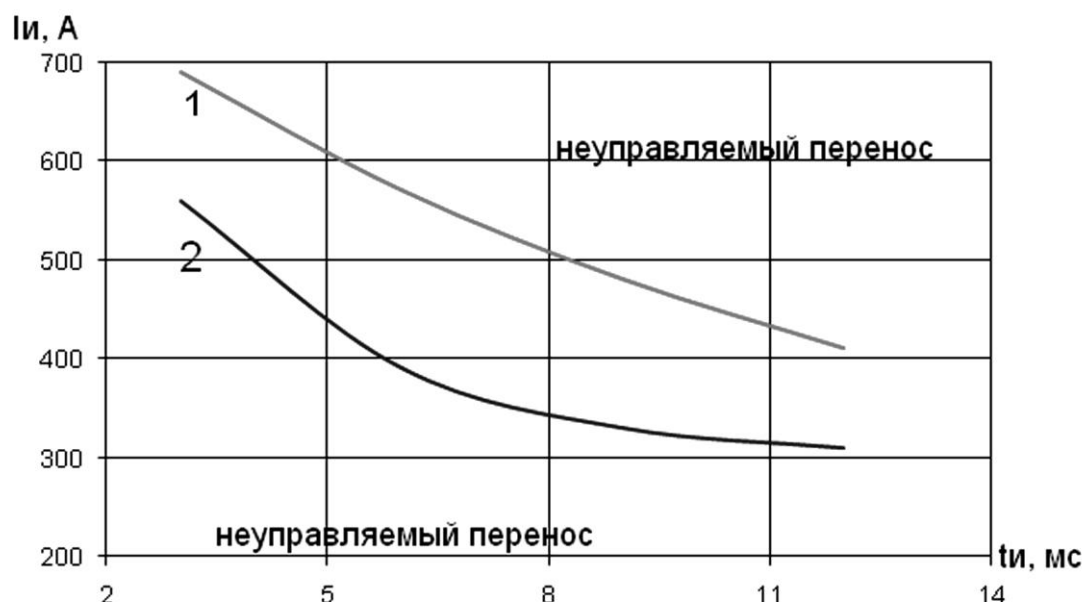


Рисунок 1 – Область режимов с управляемым переносом электродного металла (скорость подачи электродной проволоки – 650 м/ч)

При увеличении длительности и снижении амплитуды импульса перенос электродного металла приобретает более плавный характер. Влияние изменения амплитуды тока при больших длительностях менее сказывается на поведении капель расплавленного металла. Изменение параметров импульсов позволяет регулировать среднее значение тока в широких пределах при постоянной скорости подачи электрода.

В таблице 1 приведены ориентировочные режимы сварки в углекислом газе при импульсном питании дуги для одной скорости подачи электрода.

Таблица 1 – Режимы для сварки с импульсным питанием в различных пространственных положениях

Положение шва	Нижнее	Вертикальное	Потолочное
Средний ток, А	120-180	90-140	90-120
Длительность импульсов, мс	4-7	4-7	4-7
Частота, Гц	30-80	40-70	40-70
Амплитуда тока, А	400-700	400-550	400-550
Базовый ток, А	20-30	0-30	20-30
Среднее напряжение, В	33-37	33-35	33-34
Скорость сварки, м/ч	15-40	30-40	30-40

Вывод. При сварке в углекислом газе с импульсным питанием сварочной дуги существует область режимов, параметры импульсов в которой обеспечивают управляемый перенос электродного металла в различных пространственных положениях.

УДК 621.791.65

МЕТОД СКОРОСТНОЙ КИНОСЪЕМКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ПЛАВЛЕНИЯ И ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОДНОГО МЕТАЛЛА В СВАРОЧНОЙ ДУГЕ

КРАМПИТ А.Г., КРАМПИТ М.А., ДМИТРИЕВА А.В.

*Юргинский технологический институт (филиал)
Томского политехнического университета
г. Юрга*

Способы управления переносом электродного металла имеют общие цели: улучшение устойчивости горения дуги; получение направленного переноса электродного металла во всех пространственных положениях; улучшение технологических характеристик сварочной дуги; улучшение формирования сварного шва; снижения разбрызгивания электродного металла. При сварке плавящимся электродом частота переноса электродного металла составляет в среднем от 30 до 100 Гц. В связи с этим, визуально, без каких-либо дополнительных технических средств, наблюдение за процессом переноса не представляется возможным.

В статье представлен метод скоростной киносъемки дугового пространства для изучения процесса плавления и переноса электродного металла в сварочной дуге.

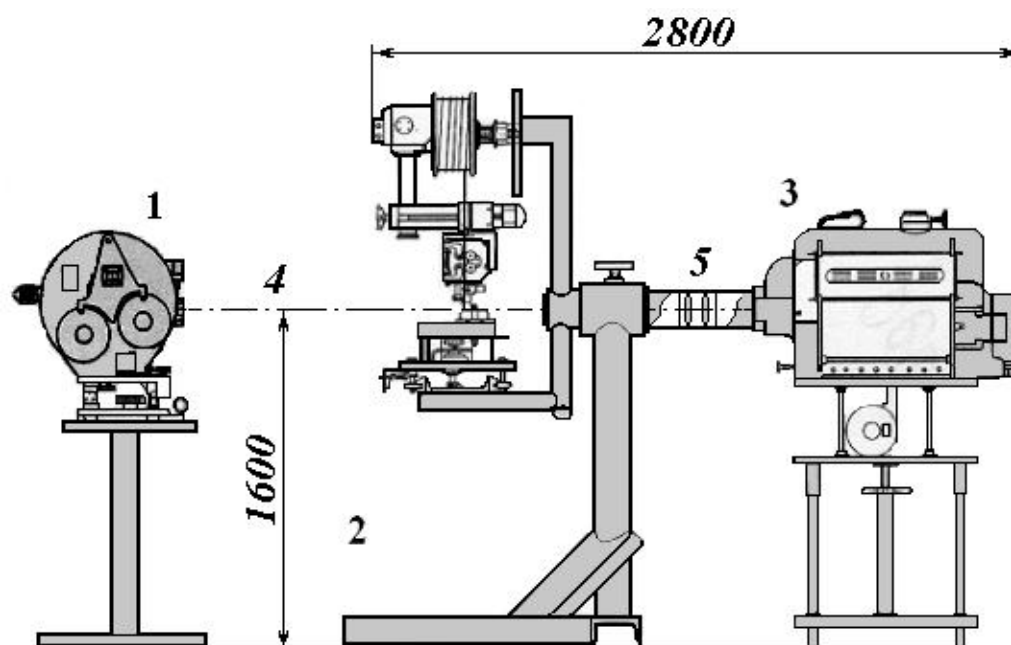
Единственным сравнительно доступным методом исследования кинетики каплеобразования является метод скоростной киносъемки, который в настоящее время получил широкое распространение. При использовании скоростной киносъемки удастся выяснить механизм многих важных процес-

сов при сварке открытой дугой.

При непосредственном фотографировании дуги фотослой фиксирует изображение светящейся поверхности плазмы, а излучение внутренних ее слоев не достигает светочувствительного слоя. Поэтому капля, находящаяся внутри светящегося столба дуги, остается невидимой. Чтобы сделать ее видимой, освещают столб плазмы источником света, создающим более мощный световой поток, чем сварочная дуга. Источник света располагают непосредственно за дугой. С помощью оптической системы происходит фокусирование источника света, которым может являться угольная дуга или ксеноновая дугоразрядная лампа. Сфокусированный луч, проникая через дугу, дает теневое изображение капли и торца электрода. Для защиты оптической системы установки от высокой температуры со стороны лампы используют тепловые фильтры, а для защиты от брызг расплавленного металла со стороны дуги - защитное стекло.

Наилучшее качество изображения может быть достигнуто при определенном согласовании светочувствительности пленки со спектрами излучения столба дуги, источника света и плавящегося электродного металла. Но необходимые для этого экспериментальные данные о спектральном составе сварочных дуг отсутствуют, поэтому такое согласование производят опытным путем с применением светофильтров.

Скоростная киносъемка дугового межэлектродного пространства производится скоростной кинокамерой при специальном освещении дугового пространства мощным источником света (дуговым прожектором или ксеноновой лампой). Схема скоростной киносъемки приведена на рисунке 1.



1 – скоростная кинокамера СКС-1М; 2 – установка для сварки;
3 – прожектор КПТ 2; 4 – оптическая ось; 5 – система линз

Рисунок 1 – Схема установки для скоростной киносъемки

Частота кадров в большинстве случаев от 500-1500 кадров в секунду. Следовательно, процесс образования отрыва и перехода каждой капли фиксируется на нескольких (10 и более) кадрах, что позволяет получить обширную информацию. При анализе и обработке результатов скоростной киносъемки можно установить характер переноса электродного металла в сварочной дуге, а также время существования отдельных капель и частоту их перехода с электрода в сварочную ванну.

Кроме того, можно определить массу капли, а также установить характер разбрызгивания электродного металла (взрыв электродной капли, выброс капли за пределы сварочной ванны, полет капли до места контакта с поверхностью свариваемого изделия).

Вывод. Полную информацию о переносе и кинетике плавления электродного металла дает метод скоростной киносъемки, совмещенный с методом осциллографирования.

УДК 621.791:624

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СВАРКИ РЕЗЕРВУАРОВ СЕВЕРНОГО ИСПОЛНЕНИЯ*

**КОЗЫРЕВ Н.А., ИГУШЕВ В.Ф., КРЮКОВ Р.Е.
КОВАЛЬСКИЙ И.Н., ШУРУПОВ В.М.**

*Сибирский государственный индустриальный университет,
ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций»
г. Новокузнецк*

В последнее время наблюдается бурное развитие нефтегазовой отрасли, сопровождаемое увеличением объемов добычи углеводородного сырья и производства нефтепродуктов. Включение в зону строительства резервуаров новых территорий с экстремальными климатическими нагрузками вызывают необходимость применения соответствующих материалов для их изготовления.

В работе приведены результаты исследований по разработке новых сварочных материалов для сварки металлоконструкций северного исполнения.

При изготовлении резервуаров для нефтепродуктов в северном исполнении широкое применение нашли низколегированные кремнемарганцовистые стали 09Г2С (ГОСТ 19287-89). Резервуары большой емкости изготавливают методом рулонирования. В качестве сварочных материалов используют низколегированную проволоку Св-08ГА (ГОСТ 2246-70) и кремнемар-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации госзаказа 7.5021.2011.

ганцовистые окислительные флюсы.

Окислительные флюсы широко применяются при сварке низколегированных сталей, они имеют ряд достоинств: хорошее формирование шва, глубокое проплавление металла, шлаковая корка легко удаляется с поверхности шва. Эти флюсы имеют один существенный недостаток: при сварке под этими флюсами интенсивно протекают окислительно-восстановительные процессы, в результате чего в металле шва повышается содержание кислорода и, следовательно, увеличивается количество неметаллических включений.

Механические испытания металла швов, выполненных под флюсами с различной окислительной способностью, показали, что при близких значениях прочностных характеристик пластические свойства металла шва тем выше, чем меньше в нем неметаллических включений.

Интересным, с точки зрения снижения образования в сварном шве неметаллических включений, является изучение влияния добавок углерода, т.к. с одной стороны, образующиеся с участием углерода соединения CO и CO₂ находятся в газообразном состоянии, а значит легко удалимы и не загрязняют металл шва неметаллическими включениями, с другой стороны, использование углерода в качестве раскислителя, приводит к науглероживанию металла, что в свою очередь ухудшает механические свойства металла.

В исследованиях использовали:

- окислительный флюс АН-348А с высоким содержанием окислов кремния и марганца;

- углеродсодержащую добавку с содержанием, масс. %: Al₂O₃ =21-46; F⁺ =18-27; Na₂O=8-15; K₂O=0,4-6%; CaO=0,7-2,3; SiO₂=0,5-2,5; Fe₂O₃=2,1-3,3; C_{общ}=12,5-30,2; MnO=0,07-0,9; MgO=0,06-0,9; S=0,09-0,19; P=0,10-0,18.

Теоретически данная добавка должна позволять осуществлять интенсивный углеродный «кип» за счет образования CO и CO₂, образующихся при взаимодействии фтористого углерода CF_x с растворенным в стали кислородом, при этом в связи с тем, что углерод находится в связанном состоянии науглероживание стали практически не происходит.

Добавку к флюсу готовили следующим образом: в отходы добавляли 10 – 12 % жидкого стекла (из расчета сухого остатка) с плотностью при 15 – 25 °С – 1,30 – 1,55 г/см³; силикатный модуль [SiO₂ : (K₂O+ Na₂O) · 1,0323] – 2,6-3,0, тщательно перемешивали, осуществляли сушку в печи, после чего добавку охлаждали и дробили. Затем добавку смешивали с флюсом в специальном смесителе в различных количествах.

Исследовалось влияние добавки в составе флюсов на состав шва, структуру металла, содержание кислорода и неметаллических включений в шве, сварочно-технологические свойства, механические свойства и ударную вязкость сварных швов.

Эксперименты проводились на образцах из стали 09Г2С толщиной 16 мм размером 200×500 мм. Сварка стыковых швов без разделки кромок проводилась с двух сторон, как при сварке полотнищ стенок резервуаров на

стенде для рулонирования. В качестве присадочного металла использовалась проволока Св-08ГА диаметром 5 мм. Для исследования были использованы следующие флюсы: АН-348А – базовый вариант, флюс АН-348А и углеродфторсодержащая добавка в разных количествах.

Все флюсы имели хорошую делимость шлака. Поверхность металла шва была гладкая без дефектов во всех опытах.

Анализ содержания углерода в образцах показал, что применение добавки приводит к некоторому повышению содержания углерода в сварном шве, не превышающего в основном металле при содержании добавки до 6 %.

Металлографическое исследование микрошлифов сварных соединений показало, что углеродфторсодержащая добавка не оказывает влияние на структуру металла шва.

Углеродфторсодержащая добавка оказала большое влияние на содержание неметаллических включений. В образцах, сваренных под флюсом с добавками, наблюдалось уменьшение неметаллических включений особенно силикатов, имеющих большие размеры и оказывающих значительное влияние на ударную вязкость металла.

За счет введения добавок происходит, по-видимому, углеродный окислительный «кип», позволяющий удалять неметаллические включения и получать металл шва более чистый по неметаллическим включениям.

УДК 621.791:624

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СЕВЕРНОГО ИСПОЛНЕНИЯ*

КОВАЛЬСКИЙ И.Н., ИГУШЕВ В.Ф., КОЗЫРЕВ Н.А., КРЮКОВ Р.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций»
г. Новокузнецк*

ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций» постоянно работает над совершенствованием и внедрением в производство передовых технологий изготовления металлоконструкций. Большое внимание уделяется строительным металлоконструкциям северного исполнения, представителем которых являются резервуары для хранения нефтепродуктов.

Резервуары большой емкости изготавливаются методом рулонирования на специальных стендах. Применяется двусторонняя сварка стыковых швов полотнищ стенок автоматическим способом под флюсом на верхнем ярусе и на нижнем ярусе после протягивания полотнища с помощью барабана.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации госзаказа 7.5021.2011.

При изготовлении резервуаров для нефтепродуктов в северном исполнении применяются низколегированные стали. Широкое применение нашла кремнемарганцовистая сталь 09Г2С (ГОСТ 19287-89).

Сталь 09Г2С с низким содержанием углерода обладает удовлетворительной свариваемостью, достаточно большим пределом выносливости и малой склонностью к хрупкому разрушению, что обеспечивает надежную работу сварных конструкций в течение длительного времени. При сварке стали необходимо сформировать состав и структуру, обеспечивающую равнопрочность сварного соединения и основного металла, при достаточно хороших свойствах, что достигается путем подбора соответствующего состава металла шва.

При отработке технологии сварки на заводе были опробованы различные композиции сварочных проволок с флюсами, в результате чего выбраны оптимальные составы сварочных материалов и режимы сварки, обеспечивающие получение сварного шва с высокими механическими свойствами и ударной вязкостью при отрицательных температурах.

Для сварки конструкций в северном исполнении, позволяющих при высокой производительности сварки обеспечить необходимый уровень механических свойств, при работе в температурных условиях ниже минус 40 °С обычно используются сварочные проволоки марок Св-08ГА и Св-10НМА (ГОСТ 2246-70) и окислительные флюсы, предназначенные для сварки низколегированных сталей.

На механические свойства металла шва, особенно на ударную вязкость оказывает большое влияние также состав флюса и режим сварки. Для сварки низколегированных сталей широко применяются окислительные флюсы марок АН-348А, АН-67, АН-60 (ГОСТ-9087-81, ГОСТ Р 52222-2004). Состав флюса оказывают большое влияние на содержание кислорода и ударную вязкость металла шва.

Наибольшее распространение для автоматической дуговой сварки низколегированных сталей получил флюс АН-348А. Флюс стекловидный, дает глубокое проплавление, хорошее формирование, с плавным переходом к основному металлу. Металл шва имеет высокие механические свойства, однако, получаемая удовлетворительная ударная вязкость металла шва при плюсовой температуре, снижается при отрицательных температурах до значений ниже допустимых при – 40 °С. Низкие значения ударной вязкости при отрицательных температурах, по-видимому, связаны с повышенным содержанием кислорода и неметаллических включений в швах. Флюс АН-67 способствует получению металла шва с высокой ударной вязкостью, но дает неудовлетворительное формирование шва. Флюс АН-60 пемзовидный, используется при сварке на форсированных режимах, позволяет получать металл шва с низким содержанием кислорода и высокой ударной вязкостью, но дает малое проплавление основного металла.

Использование смесей флюсов АН-348А и АН-67 и АН-348А и АН-60 позволяет сохранить достоинства флюса АН-348А и получить более высокие

механические свойства и ударную вязкость металла при отрицательных температурах.

Рекомендуемая для сварки ответственных металлоконструкций из стали 09Г2С, работающих при отрицательных температурах, проволока Св-10НМА в отличие от Св-08ГА содержит больше углерода, а также никель и молибден, которые значительно повышают прочность металла шва и ударную вязкость при отрицательных температурах, дает мелкозернистую структуру. Наиболее высокие значения механических свойств и ударной вязкости металла шва были получены при сварке проволокой Св-10НМА под смесью флюсов АН-348А и АН-60 при соотношении 1:1. Однако применение проволоки Св-10НМА для сварки швов на верхнем ярусе нежелательно, так как возможно образование трещин в швах при протягивании полотнища стенки с верхнего яруса на нижний и изгибе полотнища на барабане. Это связано с наличием в металле шва структуры закалки. Данную проволоку можно применять при сварке без трещинообразования только на нижнем ярусе.

На верхнем ярусе предложено выполнять сварку проволокой Св-08ГА под смесью флюсов АН-348А и АН-67 при соотношении 1:1. При сварке данной проволокой металл шва получается пластичным, без структур закалки. Структура металла шва ферритно-перлитная. Металл шва имеет высокие механические свойства. Добавка флюса АН-67 снижает скорость протекания окислительно-восстановительных процессов, способствует уменьшению кислорода в шве и позволяет повысить ударную вязкость металла шва. При деформации полотнища стенки на барабане трещины в швах не образуются.

УДК 621.791

НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА ТИПА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

ВОСТРЕЦОВА Т.Г., ВОСТРЕЦОВ Г.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Валки холодной прокатки работают в условиях одновременного действия остаточных, контактных, изгибающих напряжений, тепловых нагрузок и крутящего момента. Рабочий слой должен обладать высокой прочностью, вязкостью, износостойкостью, теплостойкостью и высокой твердостью. Наиболее полно всем этим свойствам отвечают теплостойкие инструментальные стали высокой твердости, которые сочетают теплостойкость (600 – 700 °С) с высокой твердостью (HRC 63-68) и повышенным сопротивлением пластической деформации.

Таким образом, разработка и применение наплавочных материалов на основе теплостойких инструментальных сталей является весьма актуальной

задачей. Причем в зависимости от конкретных условий работы валков должен разрабатываться материал с определенными доминирующими свойствами. Например, для наплавки рабочего слоя валков холодной прокатки вольфрама и молибдена необходима высокая твердость, а для наплавки рабочего валков прокатки керамической пленки – высокая износостойкость наплавленной поверхности.

В результате анализа условий эксплуатации прокатных валков и требований, предъявляемых к рабочей поверхности можно сформулировать следующие основные принципы разработки наплавочных материалов:

- создание наплавленного слоя, отвечающего полному комплексу необходимых свойств (твердости, теплостойкости, износостойкости и прочности);
- оптимизация составов наплавочных материалов в зависимости от конкретных вариантов применения;
- технологичность разрабатываемых наплавочных материалов.

Создание наплавленного слоя валков с высоким комплексом свойств.

Известно, что служебные характеристики наплавленного теплостойкого металла определяются комплексной системой легирования, в основном содержанием таких легирующих элементов, как углерод, вольфрам, хром, молибден и некоторые другие. Высокую твердость, которую теплостойкая сталь приобретает после наплавки и отпуска на вторичную твердость обеспечивает мартенситная структура наплавленного металла и дисперсионное твердение в результате выделения карбидной фазы типа M_6C . В состав упрочняющей карбидной фазы входят соответственно карбиды вольфрама, хрома, молибдена и др.

Таким образом, наплавленный теплостойкий металл должен быть не только высоко, но и сложнолегированным. Термический цикл наплавки должен, в свою очередь, обеспечить получение наплавленного металла в закаленном состоянии, который способен к упрочнению при отпуске на вторичную твердость.

Оптимизация составов наплавочных материалов.

В настоящее время все более широкое применение находят экономно-легированные теплостойкие стали. При этом разработка химического состава таких сталей направлена на возможность частичной замены основных легирующих элементов на другие элементы, которые в процессе наплавки сравнительно не сложно ввести в металл. Например, используя плазменную наплавку в защитно-легирующей среде азота наплавленный металл можно дополнительно легировать алюминием, кобальтом, азотом и другими элементами.

Технологичность разрабатываемых наплавочных материалов.

Вопрос технологичности наплавочных материалов связан с процессами их изготовления и использования. В основном под технологичностью наплавочных материалов для наплавки прокатных валков понимают возможность получения наплавленного металла с высокими технологическими

свойствами, хорошего формирования, без пор, трещин и других дефектов. При этом важны и другие факторы: разбрызгивание при наплавке; отделимость шлаковой корки; отсутствие неметаллических включений, сама форма наплавочного материала и др.

Способы наплавки теплостойких сталей, основанные на возможности получения металла после наплавки в закаленном состоянии, выдвигают определенные требования к химическому составу металла к структурным и фазовым превращениям. В этом случае необходимо учитывать тот фактор, что температура начала мартенситного превращения M_n должна находиться в пределах 150 – 200 °С и металл должен иметь высокую устойчивость при температурах диффузионного превращения аустенита. В этом случае использование «жесткого» термического цикла, характерного для плазменной наплавки, позволит получить наплавленный теплостойкий металл в закаленном состоянии и способный к дисперсионному упрочнению при отпуске. Низкотемпературный подогрев металла в процессе наплавки при температурах начала мартенситного превращения обеспечит замедленное охлаждение металла и релаксацию сварочных напряжений за счет кинетической пластичности, протекающей при полиморфном превращении.

УДК 621.791.75.037

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗРАБОТАННОГО СПОСОБА СВАРКИ С ДВУХСТРУЙНОЙ ГАЗОВОЙ ЗАЩИТОЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

ГРИГОРЬЕВА Е.Г., ЧИНАХОВ Д.А.

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета,
г. Юрга*

Одной из существенных проблем, с которыми приходится сталкиваться сельскохозяйственным предприятиям, являются высокие затраты на техническое обслуживание и ремонт рабочих поверхностей деталей машин. Внеплановые работы по их ремонту и восстановлению, как правило, сопровождаются вынужденными простоями, что, в свою очередь, сказывается на производительности труда и ведет к негативным последствиям.

К производителям различного промышленного оборудования и машин все чаще предъявляются требования по повышению эффективности работы и срока службы данного оборудования, снижению материалоемкости, уменьшению эксплуатационных затрат, соответствию экологическим требованиям. Все это обуславливает разработку и использование в промышленности новых марок сталей, обладающих повышенными свойствами, в частно-

сти — высокопрочных специальных сталей.

В настоящее время одними из наиболее перспективных для использования в машиностроительном производстве являются высокопрочные и износостойкие стали. В Европе такие стали производятся с начала 1960-х годов, постепенно завоевывая все большую популярность в мире. В России они начали применяться с начала 1990-х годов и со временем становятся все более востребованными.

Легированные высокопрочные стали обладают высоким комплексом эксплуатационных свойств [1, 2]. Они обеспечивают высокую прочность конструкции при одновременном снижении ее металлоемкости. Использование высокопрочной стали позволяет увеличить срок службы рабочих частей машин в два раза по сравнению с обычной сталью. Но, несмотря на это, вопрос восстановления изношенных деталей остается актуальным.

Существуют различные способы наплавки высокопрочных сталей, однако они обладают рядом недостатков, т.к. при наплавке, стали данного класса, склонны к закалке и образованию холодных трещин.

Для предотвращения образования холодных трещин зачастую прибегают к дополнительным операциям, усложняющим технологический процесс. В отечественной и зарубежной практике для этой цели широко применяют предварительный подогрев и последующую термообработку [4].

Необходимо также учитывать, что легированные высокопрочные стали (30ХГСА, 25ХГСА, 12Х2НЧА и др.) чувствительны к концентраторам напряжений, особенно после обычной закалки и отпуска, а также подвержены охрупчиванию в результате насыщения водородом [2], что при высоких внутренних напряжениях или циклической нагрузке может служить причиной зарождения холодных трещин.

В настоящее время наиболее распространены дуговые методы наплавки. Наибольшей популярностью пользуется наплавка в среде углекислого газа, отличаясь простотой процесса в сочетании с высокой производительностью, маневренностью и универсальностью.

Были проведены экспериментальные исследования сварочных процессов с традиционным (одноструйным) и с разработанным в ЮТИ ТПУ двухструйным способом газовой защиты зоны сварки. Двухструйное сварочное сопло обеспечивает лучшую газовую защиту зоны сварки, чем одноструйное. В этом случае наблюдается явление прижимания внешним кольцевым газовым потоком отраженного от поверхности свариваемой детали газового фронта. Таким образом, формируется более устойчивый и максимально покрывающий поверхность изделия поток защитного газа [4]. Способ сварки легированных сталей с двухструйной газовой защитой в среде CO_2 обеспечивает высокие механические свойства сварных соединений без предварительного подогрева и последующей термообработки и является ресурсо- и энергосберегающим [4].

Сварка и наплавка являются родственными процессами, стоит предположить, что данный способ сварки можно успешно применять и для нанесе-

ния наплавленного слоя. Геометрия наплавляемого валика с применением двухструйного сварочного сопла имеет более плоскую форму, что является благоприятным фактором для применения его при наплавке.

Библиографический список

1. Сварка и свариваемые материалы: В 3-х т. Т. 1. Свариваемость материалов. Справ.изд. / Под ред. Э.Л. Макарова – М.: Металлургия, 1991. – 528 с.
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.
3. Сараев Ю.Н., Чинахов Д.А. Повышение механических характеристик при сварке стали 30ХГСА // Сварка и родственные технологии: мировой опыт и достижения: Матер. II Междунар.симп. – Минск, 2001. – С. 108–109.
4. Роль газодинамического воздействия струи защитного газа на процессы сварки плавящимся электродом: монография /Д.А. Чинахов; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 151с.

УДК 621.791

СОСТОЯНИЕ ЭЛЕКТРОДНОГО ПРОИЗВОДСТВА, ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАТЕРИАЛАМИ

Гордин С.О., Рудаков С.Г.

«ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»

***Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк***

В 2010 году производство сварочных электродов в странах СНГ по сравнению с 2009 г. возросло, в том числе в России на 11 %. В целом на внутреннем рынке России по-прежнему доминирует продукция отечественных производителей, составляя более 90% объема выпуска. Производство сварочных материалов относится к металлургии, и ситуацию с сырьем для этого производства следует рассматривать как часть сырьевых проблем мировой металлургии. Потребность электродных предприятий России в основных компонентах составляет ориентировочно: рутила и ильменита – 16 тыс.т., мрамора – 11 тыс. т, ферромарганца – 5 тыс. т, плавиковошпатового концентрата – 4 тыс. т.

Материалы – заменители.

Даже после обогащения минеральное сырье, как правило, кроме основного минерала содержит и смесь других. Даже использование минерального сырья одного и того же месторождения далеко не всегда может служить гарантией постоянства его состава и свойств. Сложность минералогического состава применяемого сырья имеет и другие последствия, связанные с различиями по физическим свойствам и содержаниям вредных примесей составляющих их материалов. Например, при измельчении в шаровых мельни-

цах – в первую очередь измельчаются минералы, имеющие наилучшие характеристики перерабатываемости (по твердости, скалываемости, вкрапленности). Поэтому различные фракции материала могут иметь существенные отличия в составах.

Рутил.

Основными компонентами электродных покрытий являются рутиловый и ильменитовый концентраты, однако Россия не имеет в настоящее время собственных промышленно разрабатываемых месторождений. Все известные крупные освоенные месторождения находятся на территории Украины.

Целесообразно использовать наряду и взамен рутила титановые шлаки. Такие шлаки, содержащие не менее 90 % TiO_2 , образуются при плавке ильменитовых концентратов в руднотермических печах.

Возможно применение синтетического рутила.

В настоящее время электродные предприятия СНГ используют, главным образом, украинские концентраты Вольногорского ГОКа. На российский рынок также поступают концентраты из Казахстана, Сьерра-Леоне, ЮАР и Новой Зеландии.

Мрамор.

Попытки замены мрамора известняками, на которые в одно время возлагали большие надежды, дали положительный результат только для электродов с рутиловым покрытием.

Слюда-мусковит. Нестабильна работа предприятий, поставляющих слюду-мусковит.

Плавиковошпатовый концентрат. Нестабильно положение с поставками плавиковошпатового концентрата (поставщики – Калангуйский плавиковошпатовый комбинат, Россия, Хайдарканский ртутный комбинат, Киргизия, а, в последнее время – старательная артель «Кварц»). Производители плавиковошпатового концентрата работают нестабильно, имеют значительные проблемы по экологическим показателям.

Целлюлоза. При громадных ресурсах природной целлюлозы отечественная электродная целлюлоза, получаемая варкой древесины и последующими технологическими операциями, заканчивая рассевом, не отвечает современным требованиям.

Силикат-глыба. «Армавир стекло» – многолетний основной поставщик силикат-глыбы резко снизил качество продукции. Появление на рынке стекольного завода – ЗАО «Строительный комплекс», входящий в состав Магнитогорского меткомбината, улучшило ситуацию с обеспечением силикат-глыбой и способствовало установлению на нее более обоснованных цен.

Ферросплавы. На рынке присутствуют десять заводов-изготовителей ферросплавов из России, Украины и Казахстана и до 30 фирм, специализирующихся на торговле ферросплавами. На рынке представлено порядка 30 наименований ферросплавов.

Имея достаточные мощности по выпуску практически всех ферро-

сплавов, Россия, в то же время, не располагает разработанной минерально-сырьевой базой. Горнорудные предприятия соответствующего профиля остались на территории ныне независимых государств. Большинство же отечественных месторождений бедны по основным элементам и расположены в труднодоступных местах.

Сварочная проволока. Для изготовления электродов применяют низкоуглеродистые проволоки марок Св-08 и Св-08А по ГОСТ2246. Такие проволоки изготавливают из кипящей стали, содержащей ограничения по максимальной концентрации кремния (до 0,03 %) и алюминия (до 0,01 %). В течение многих лет претензии к изготовителям проволоки сводились к низкому качеству ее поверхности – ржавчине, загрязнениям, повышенному количеству смазки, плохой намотке и упаковке, сложности получения проволоки с пониженным содержанием серы и фосфора.

Изложенная ситуация с материалами, идущими на изготовление электродов, является каждодневной проблемой электроизготавливающих предприятий.

УДК 621.791

ПРОИЗВОДСТВО ОМЕДНЕННОЙ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ С УЧЕТОМ РЕЦИКЛИНГА МАТЕРИАЛОВ

Гордин С.О., Рудаков С.Г.

***«ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»,
Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк***

В современной технике электродуговая сварка по-прежнему является важнейшим способом изготовления неразъемных соединений металлов в большинстве отраслей промышленности и строительства. Сварке подвергаются практически любые металлы, сплавы и неметаллы в любых условиях – на суше, в водах морей и океанов, в космосе. Толщина свариваемых деталей колеблется от микронов до метров, масса конструкций – от долей грамма до сотен и тысяч тонн. Более половины валового внутреннего продукта промышленно развитых стран создается с применением сварки и родственных технологий. До 2/3 мирового потребления стального проката идет на производство стальных конструкций и сооружений. Поэтому рынок стального проката, составляющий 85 – 95 % общего потребления стали, может считаться базовым для рынка сварочного производства. Сваркой в мире занято не менее 5 млн. человек, из них 70 – 80 % на электродуговых процессах.

В настоящее время, в условиях экономического кризиса и высокой конкуренции на рынке сварочных материалов, особенно учитывая приобретение ведущих российских электродных заводов иностранными фирмами,

создание высокоэффективных материалов и разработка современных технологий их производства (при снижении себестоимости материалов) приобретает для производителей очень важное, а порой и решающее значение.

На ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» разработан комплексный подход в решении вопросов повышения качества сварочных материалов, отличительной особенностью которого является повышение качества существующих и создание новых сварочных материалов при снижении себестоимости их производства.

Одним из направлений снижения себестоимости и повышения качества омедненной сварочной проволоки является использование при ее производстве сульфата натрия. Сульфат натрия – попутный продукт, получаемый при очистке сточных вод участка омеднения сварочной проволоки сталепрокатного производства и фактически является отходом производства.

Поставленная задача достигается тем, что моющий раствор для очистки сварочной проволоки, предназначенной для омеднения, содержит соду, воду и сульфат натрия при следующем соотношении компонентов, мас. %:

Сода.....	1,5–2,5
Сульфат натрия.....	0,3–0,6
Вода.....	остальное.

Технический результат, достигаемый при использовании данного моющего раствора, заключается в том, что введение в его состав нового компонента – сульфата натрия, в данных пределах, улучшает моющую способность раствора. В присутствии в моющем растворе сульфата натрия загрязнения, находящиеся на поверхности проволоки в виде тонкой пленки, распадаются на более мелкие частицы и смываются с поверхности металла. Частицы не налипают обратно на очищенную поверхность и не слипаются между собой. При содержании сульфата натрия в моющем растворе менее 0,3 мас. % после промывки на поверхности сварочной проволоки остаются следы загрязнений. Повышение содержания сульфата натрия в моющем растворе более 0,6 мас. % нецелесообразно, т.к. моющая способность раствора остается на прежнем уровне. Сода является активным моющим компонентом. При содержании в растворе соды более 2,5 мас. % происходит ухудшение качества очистки поверхности проволоки, так как моющий раствор плохо удаляется с металлической поверхности, а при содержании менее 1,5 мас. % - раствор имеет недостаточную моющую способность.

Результаты испытаний различных составов моющих растворов для очистки металлической поверхности приведены в таблице 1.

Видно, что моющие растворы заявленного состава обладают оптимальными свойствами (высокая степень очистки – 98,2 %, поверхность металла – чистая). После омеднения покрытие сварочной проволоки, очищенной растворами № 2 – № 4, имеет высокое качество медного покрытия – равномерный, плотный, блестящий слой, прочно сцепленный с поверхностью проволоки. Очистка проволоки моющими растворами № 1 и № 5 не позволяет получить необходимое качество медного покрытия.

Таблица 1 – Результаты испытаний различных составов моющих растворов

№	Количество компонентов моющего раствора, мас. %			Степень очистки, %	Степень очистки поверхности металла после промывки
	Сода (натрий углекислый)	Сульфат натрия	Вода		
1	1,0	0,1	остальное	67,4	Низкая (загрязнения не полностью удаляются с поверхности металла)
2	1,5	0,3	-//-	98,1	Высокая
3	2,0	0,4	-//-	98,2	Высокая
4	2,5	0,6	-//-	98,0	Высокая
5	3,0	0,8	-//-	78,5	Низкая

Омедненная сварочная проволока аттестована Национальным Агентством Контроля и Сварки и Российским Речным Регистром.

УДК 621.791

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ КРАСКИ ДЛЯ МАРКИРОВКИ СВАРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Гордин С.О., Рудаков С.Г.

**«ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»,
Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк**

Электроды для ручной электродуговой сварки по-прежнему играют существенную роль на рынке сварочных материалов. Высокая конкуренция на данном рынке, особенно активизация китайских производителей сварочных материалов, диктует необходимость повышать конкурентоспособность отечественных электродов.

В ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» разработана рецептура высококачественной марки электродов Запсиб УОНИ-13/55. Предлагаемый состав электродного покрытия позволяет получить оптимальный комплекс потребительских свойств для электродов данного типа.

Механические свойства металла шва, выполненного электродами новой марки, имеют гарантированно высокие значения. Кроме высокого уровня сварочно-технологических свойств, механических свойств металла шва, гарантированного низкого содержания в наплавленном металле серы и фосфора, электроды производства Запсиба имеют поштучную маркировку и ио-

низирующий слой на торце электрода для улучшения зажигания дуги.

Сварочные электроды марки Запсиб УОНИ-13/55 аттестованы Национальным Агентством Контроля и Сварки (НАКС) и разрешены к использованию на опасных производственных объектах при ремонтных и других работах на подъемно-транспортном, горнодобывающем, металлургическом и котельном оборудовании.

Для маркировки сварочных электродов в сталепрокатном производстве ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» использовали краску производства НИИ пигментных материалов г. Челябинска, полученную в комплекте с маркировочным устройством УМ-800 производства ООО «РОТЕКС».

Специфика покрытия новой марки электродов не позволила получать качественную маркировку при использовании данной краски.

В связи с этим, были разработаны составы и изготовлены краски для маркировки сварочных электродов, состоящие из оксидов металлов, соляной кислоты, железа треххлористого 6-водного и органических растворителей. Качественные показатели красок приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Техническая характеристика красок

№ п/п	Наименование показателя	Содержание
1	Массовая доля летучих веществ, %	40-60
2	Массовая доля нелетучих веществ, %	не менее 40
3	Термостойкость	Цвет без изменения
4	Внешний вид маркировки	Четкий, прочный, без потеков и шелушения

Для приготовления маркировочной краски использовали емкость из нержавеющей стали, в которую помещали кислоту или соли железа, затем добавляли порошкообразные оксиды металлов. К полученной смеси приливали органические растворители. После тщательного перемешивания смесь выдерживали в течение 24 часов для протекания реакции между компонентами смеси.

Полученные маркировочные краски не имеют резкого запаха, однородные по своему составу, выпадение осадка ликвидируется простым кратковременным перемешиванием. Краски использовали для нанесения маркировки на поверхность сварочных электродов маркировочным устройством УМ-800 в производственных условиях. Нанесение краски на маркируемые изделия производили с помощью передающих роликов и ролика маркировочного. Данные краски применимы для маркировки электродов всех марок, выпускаемых в ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК».

В процессе работы определяли расход красок на разных диаметрах и марках сварочных электродов. Данные по расходу красок представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расход красок для маркировки сварочных электродов

Диаметр, мм	Расход краски на 1 т электродов, кг			
	МР-3		Запсиб УОНИ-13/55	
	состав № 1	состав № 2	состав № 1	состав № 2
3,0	0,047	0,040	-	-
4,0	0,025	0,026	0,071	0,075
5,0	0,021	0,022	0,058	0,059

Далее осуществлялась сушка при температуре 20-25 °С и четырехкратная термообработка в печи при температуре 400 °С. Маркировка после прокалики устойчива к атмосферным воздействиям, обладает стойкостью к истиранию и имеет четкое изображение. Таким образом, данные краски обеспечивают гарантированное выполнение требований п. 4.3.1 РД 03-613-03, в соответствии с которым маркировка должна визуально определяться после трехкратной прокалики электродов в печи.

Выводы:

Разработаны и внедрены термостойкие краски для маркировки сварочных электродов, имеющие высокие адгезионные свойства, четкую надпись, яркий цвет, устойчивость к температурам до 400 °С.

Термостойкие краски просты в изготовлении и не требуют больших материальных затрат.

УДК 621.791.92

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ПАРТИЙ НАПЛАВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ МАЛОЙ ВЫБОРКИ

МАЛУШИН Н.Н., РАЙКОВ С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Практика показывает, что в настоящее время весьма большое число рабочих валков холодной прокатки (до 50 – 70 % и более) преждевременно выходит из строя до срабатывания активного закаленного слоя. Нарботка валков до отказа имеет значительное рассеивание из-за случайных изменений параметров процесса прокатки. В этих условиях объективное суждение об эффективности конструкторских и технологических мероприятий, направленных на повышение качества валков, возможно лишь на основе статистического анализа данных промышленных испытаний на долговечность. Обработку экспериментальных данных по стойкости рабочих валков холодной прокатки проводили по методике Шора Б.Я. [1]. Проверка соответствия экспериментального материала показала [2], что наиболее приемлемой моделью распределения долговечности валков является распределение Вей-

булла.

Задача извлечения максимума информации из малого количества данных является весьма важной в тех случаях, когда необходимо принять решение, имея ограниченный объем данных. На практике это особенно остро ощущается при оценке качества небольших партий наплавленных изделий, изготовленных по новым технологиям с использованием оригинальных наплавочных материалов и оборудования. Например, при определении качества опытно-промышленной партии валков станов холодной прокатки, изготовленных с применением плазменной наплавки активного слоя теплостойкими сталями высокой твердости.

В настоящей работе была предпринята попытка сравнения методик обработки статистических данных по времени наработки на отказ валков традиционными методами математической статистики и построения оценок плотности и функции распределения при оптимальной форме ядра для малой выработки [1, 3]. Обе методики рассматривались при условии, что функция распределения, описывающая изучаемую случайную величину, принадлежит, как установлено в работе [2], к распределению Вейбулла.

В основу методов построения оценки плотности распределения по большим выборкам положена идея разбиения интервала (a, b) , содержащего возможные значения случайной величины X : $x_1, x_2, \dots, x_n$ на K интервалов U_k , группировке наблюдений в этих интервалах и равномерное «размазывание» в каждом интервале U_k . Такой подход приводит к уменьшению информации, извлекаемой из выборки. Для больших выборок это обстоятельство не имеет существенного значения.

Для методов построения оценок функций плотности распределения по малой выборке характерен индивидуальный подход к каждой отдельной реализации выборки. Каждый отказ за счет априорной информации представляется интервалом на временной оси. Вследствие этого, информация об отказах используется более рационально, так как каждый отказ несет множество значений наработки на отказ. В это состоит отличительная особенность методов построения оценок по малым выборкам от методов построения оценок по большим выборкам. Обработка информации производилась традиционными методами с использованием стандартных программ. Для нахождения оценок распределений по малой выборке была разработана программа, реализующая алгоритмы, изложенные в работе [3]. Обработке подлежали статистические данные времени наработки на отказ валков, изготовленных с применением плазменной наплавки по технологии, разработанной на кафедре металлургии и технологии сварочного производства СибГИУ, объем выборки – 10 элементов; стальных валков, изготовленных по традиционной технологии с применением закалки и отпуска, объем выборки – 51 элемент.

Анализ результатов показал, что при обработке статистических дан-

ных традиционным методом объем выборки $n = 10$ слишком мал для практических выводов о качестве валков. При обработке статистических данных по программе, реализующей алгоритмы малой выборки, установлено, что наплавленные валки, показавшие при испытаниях увеличение стойкости в 1,5 - 2,0 раза, более высокого качества, чем изготовленные по традиционной технологии.

Библиографический список

1. Шор Б.Я. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. - М.: Советское радио, 1962. – 552с.
2. Бойков В.В. О долговечности и надежности рабочих валков непрерывных листовых станов холодной прокатки / В.В. Бойков, Н.С. Зубков, Н.С. Шкредова, Н.Н. Малушин, Л.Н. Рудакова // Известия вузов. Черная металлургия. - №.12. - 1979. - С. 107-109 .
3. Гаскаров Д.В., Шаповалов В.И. Малая выборка. - М.: Статистика, 1978. - 148 с.

УДК 621.791.92

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И КАЧЕСТВА РАБОЧИХ ВАЛКОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

МАЛУШИН Н.Н., РЫБЯНЕЦ В.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Одной из проблем, разрешение которой необходимо для дальнейшего увеличения производительности станов и улучшения качества листов, является проблема стойкости валков станов холодной прокатки. Производство валков на машиностроительных заводах является чрезвычайно сложным и длительным процессом, что обуславливает высокую их стоимость. Из всех статей стоимости холодного проката затраты на валки достигают в ряде случаев 25 %.

Объективное суждение об эффективности конструкторских и технологических решений, направленных на повышение качества валков, возможно лишь на основе статистического анализа опытных данных, так как наработка валков до отказа является случайной величиной, зависящей от изменений параметров процесса прокатки и физико-механических свойств материала валков, определяемых особенностями технологии их изготовления. Для проведения такого анализа необходимо знать плотность распределения наработки валков до отказа $f(x)$.

Нами был собран и обработан статистический материал долговечности работы 871 валка трех заводов-изготовителей.

Анализ данных эксплуатации валков холодной прокатки трудноде-

формируемых сталей и сплавов, проведенный на Новосибирском металлургическом и Ленинградском сталепрокатном заводах, показал, что основным видом разрушения рабочих валков является усталостное отслоение и выкрашивание поверхностных участков.

Анализ обработки показал, что для всех трех заводов-изготовителей наилучшим распределением оказалось распределение Вейбулла (для сравнения использовали критерии Пирсона и Колмогорова). Плотность распределения закона Вейбулла имеет вид (рисунок 1)

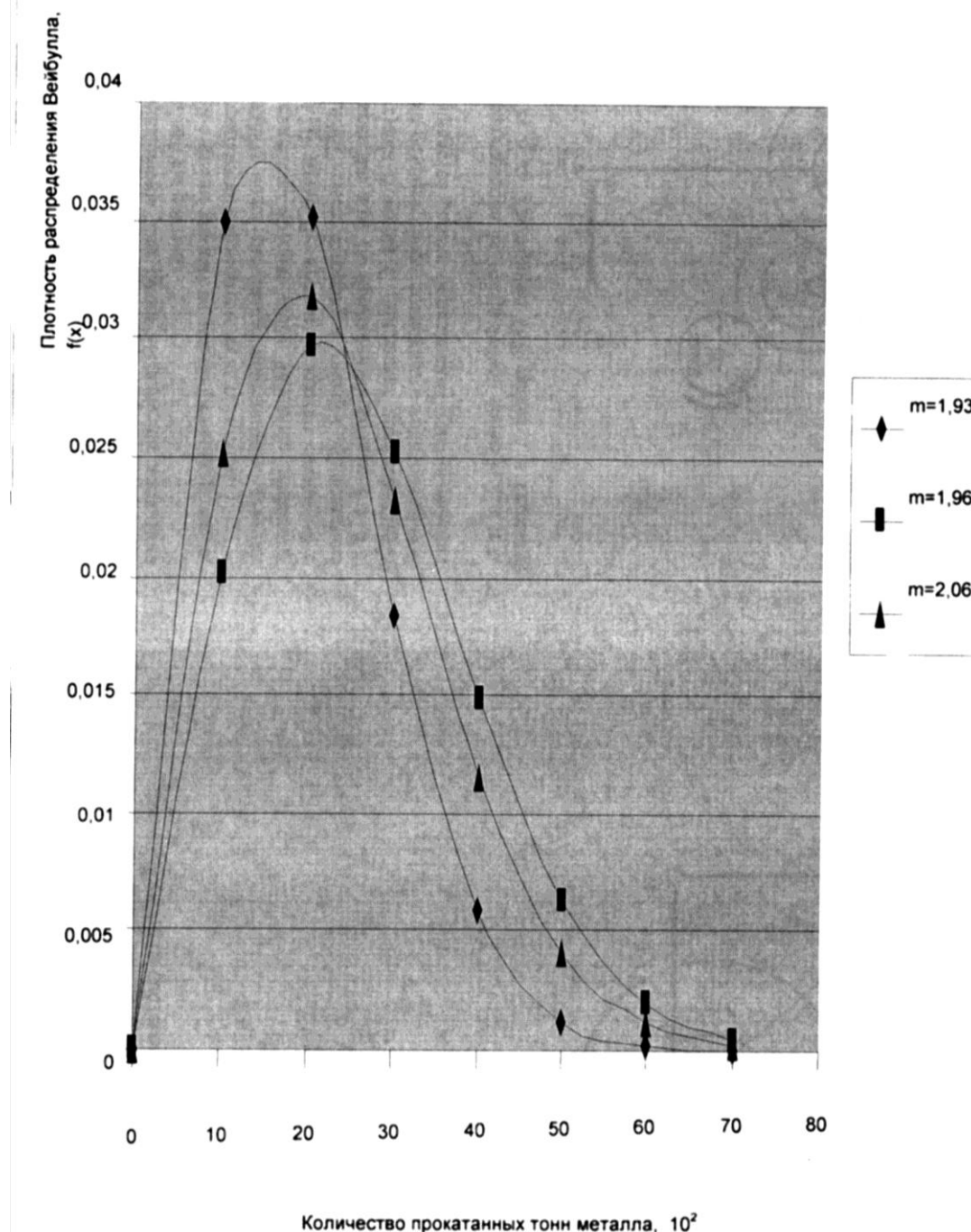


Рисунок 1 – График плотности распределения Вейбулла

$$f(x) = \frac{m}{x_0} \cdot x^{m-1} \cdot e^{-\frac{x^m}{x_0^m}},$$

где m, x_0 — параметры распределения.

Качество валков каждого завода-изготовителя оценивали по методике Шора Б. Я.. Для оценки использовали такие характеристики, как: интенсив-

ность отказов $\lambda(x) = \frac{m}{x_0} \cdot x^{m-1}$; вероятность безотказной работы

$p(x) = \exp(-\frac{x^m}{x_0^m})$; среднее количество прокатанных тонн металла до отказа вал-

ка $x_{cp} = \Gamma(1 + \frac{1}{m}) \cdot x_0^{1/m}$; гарантийное количество прокатанных тонн металла

$x_\alpha = \frac{x_{cp} \cdot \sqrt[m]{-\ln \alpha}}{\Gamma(\frac{1}{m} + 1)}$, где α – гарантийная вероятность.

Анализ полученных данных показал, что при одном и том же количестве прокатанного металла, например 2,5 тыс. т вероятность безотказной работы валков второго завода-изготовителя больше, чем третьего и первого. В то же время интенсивность отказов у второго завода-изготовителя меньше, чем у третьего и первого.

Из полученных данных видно, что лучшими являются валки второго завода-изготовителя, несколько хуже третьего и последнее место занимают валки первого завода - изготовителя.

Таким образом, в работе показано, что наилучшим распределением наработки до отказа валков рассматриваемых заводов-изготовителей является распределение Вейбулла, а также предложена методика определения качества изготовления валков станов холодной прокатки. Согласно данной методике можно с заданной вероятностью определить гарантийный срок работы валков любого завода-изготовителя, в том числе изготовленных по новой технологии с применением плазменной наплавки активного слоя теплостойкими сталями высокой твердости.

ЭКОНОМИКА, ЭКОЛОГИЯ И УПРАВЛЕНИЕ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

УДК 330.133

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БАНКРОТСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА

ГАЛЕВСКИЙ С.Г.

*Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»
г. Санкт-Петербург*

В производственном менеджменте необходимы достоверные методы и методики, позволяющие диагностировать приближение несостоятельности, поскольку лишь в случае ранней диагностики возможно принятие своевременных и эффективных антикризисных мер. Представляется, что для предприятий минерально-сырьевого комплекса (МСК) эта проблема особенно актуальна. Деятельность компаний данной сферы характеризуется неустойчивостью денежных потоков, обусловленной высокой волатильностью цен на рынках минерального сырья, а также значительной капиталоемкостью, что означает высокие риски ведения бизнеса, как внешние, так и внутренние. Об этом свидетельствует также и статистика деятельности отечественных предприятий МСК. На первый взгляд, данная отрасль является одной из наиболее успешных отраслей российской экономики, что подтверждается рядом показателей. Так, рентабельность продаж в ней самая высокая в Российской Федерации, а рентабельность активов – одна из самых высоких. Однако при столь высоких среднеотраслевых показателях рентабельности данная отрасль характеризуется значительной долей убыточных предприятий (45 % в 2009 г.). Причем высокая доля убыточных предприятий характерна для всех без исключения предприятий МСК, независимо от типа добываемого сырья. В этих условиях использование достоверных методов прогнозирования банкротства является жизненно важным как для сохранения отдельных предприятий МСК, так и для развития отрасли в целом.

Одним из самых известных способов диагностики считается индекс платежеспособности Э. Альтмана, введенный в практику в 1968 году, и послуживший основой для создания целого класса методик (Г. Спрингейта, Дж. Фулмера, Ж. Лего и др.). Однако они не соответствуют современной экономической ситуации и организации бизнеса в России, отличающейся системой бухгалтерского учёта, налогового законодательства и т.п. Предложенные же отечественными авторами методики (Р.С. Сайфуллина и Г.Г. Кадыкова, О.П. Зайцевой и др.), базирующиеся на экспертных суждениях авторов или нормативных значениях коэффициентов, не могут быть при-

знаны в достаточной степени обоснованными, из-за недостаточной обоснованности весовых коэффициентов и пороговых значений итогового показателя. Методики не учитывают отраслевую специфику предприятий МСК. Представляется, что есть несколько возможных путей решения проблемы прогнозирования банкротства предприятий МСК.

Во-первых, использование метода мультипликативного дискриминантного анализа на основе статистических данных по отечественным предприятиям МСК, что позволит в полной мере учесть как отраслевую специфику, так и специфику российских условий хозяйствования. Основное препятствие для реализации данного подхода – отсутствие обширной общедоступной информации по предприятиям-банкротам за продолжительный период времени, что затрудняет формирование качественной выборки для последующего анализа. Кроме того, значительный разрыв между успешными, высокорентабельными предприятиями и неэффективными предприятиями-банкротами, характерный для данной отрасли, также может негативно сказаться на качестве анализируемой информации, и, как следствие, на качестве полученной в результате методики. Во-вторых, возможно построение методик, основанных на нормативах, базой для которых послужат среднеотраслевые значения по предприятиям МСК за последние годы. Однако представляется, что для крупных корпораций, отличающихся значительной диверсификацией по видам деятельности, такой подход вряд ли может быть применим. Также недостатком ориентации на среднеотраслевые значения показателей является то, что во время подъема отрасли нормативы наверняка будут завышены, во время спада – занижены. В-третьих, с учетом недостатков количественных подходов к диагностике несостоятельности, оправданным представляется использование качественного подхода, при котором результаты диагностики зависят от мнения экспертов. Достоинством качественных методов является системный и комплексный подходы к оценке кризисных явлений, а также возможность полноценного учета специфики деятельности предприятий МСК. При этом основной недостаток заключается в том, что принятие решений в условиях многокритериальной задачи на основании качественных моделей представляет собой чрезвычайно сложный и трудоемкий процесс, эффективность результатов которого в значительной степени зависит от профессионализма проводящих диагностику экспертов. Также следует отметить субъективность и возникающую в определенных случаях проблему интерпретации полученных результатов.

Таким образом, ни один из возможных подходов к решению проблемы прогнозирования банкротства предприятий МСК не является безусловно предпочтительным, и всем свойственны определенные достоинства и недостатки. Поэтому представляются необходимыми дальнейшие исследования в данной области, причем усилия должны быть направлены не только на адаптацию западного опыта, но и на разработку принципиально новых моделей и подходов к решению этой задачи, призванных устранить трудности прогнозирования, связанные со спецификой условий хозяйствования.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ КОРПОРАТИВНОЙ СОЦИАЛЬНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ НА ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»

ДУМОВА Л.А., УМАНСКИЙ А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В России до недавнего времени деятельность большинства компаний в области социальной ответственности находилась на стадии «социального обязательства» – то есть на социальные программы выделялись только необходимые по закону средства. Работники предприятий обеспечивались минимальным социальным пакетом, подход к взаимодействию с обществом сочетал в себе перешедшее по наследству с советских времен так называемое «шефство» над государственными социальными учреждениями (особенно для градообразующих предприятий) и благотворительность в виде разовых акций помощи отдельным организациям или физическим лицам. В последние годы многие крупные предприятия и компании постепенно переходят к целенаправленному финансированию социальных программ. На предприятиях создаются специализированные структуры по системному управлению социальными проектами. В то же время следует отметить, что реальный уровень социальной ответственности компаний во многих случаях далек от уровня, декларируемого в средствах массовой информации. Обнародование отдельных данных о размерах социальных выплат, затратах на обучение персонала и улучшение экологической обстановки не позволяет составить объективную картину в отрыве от общей экономической ситуации в компании.

Для оценки текущего состояния системы КСО на ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» анализ показателей деятельности предприятия в 2006 – 2010 гг., входящего в состав международной горно-металлургической корпорации ООО «ЕвразХолдинг». ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» является крупнейшим за Уралом металлургическим комбинатом, на долю которого приходится порядка 10 % от общероссийского производства стального проката. Деятельность ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» в области КСО регламентирована следующими основными документами, утвержденными Советом директоров ООО «ЕвразХолдинг»: «Кодекс корпоративного управления», «Политика раскрытия информации», «Основные направления социальных инвестиций».

С целью оценки фактической степени социальной защищенности работников и уровня инвестиций в развитие кадрового потенциала проанализирована динамика изменения за период с 2006 по 2010 г. таких показателей,

как расходы на социальные программы, заработная плата работников, численность персонала, количество прошедших обучение и переподготовку работников. Источниками данных для проведения анализа послужили годовые отчеты за указанный период, публикуемые на официальном сайте для открытого доступа.

По полученным данным максимальных значений расходы на социальные программы в абсолютном выражении достигли в 2007 – 2008 гг., при этом увеличение расходов относительно 2006 г. составило порядка 40 %. В 2009 г. отмечено значительное снижение социальных расходов (на 43,6 % относительно 2008 г.), что связано с последствиями мирового экономического кризиса. В 2010 г. имел место незначительный рост расходов на социальные программы (на 15,3 %). При этом следует обратить внимание на незначительную величину социальных расходов в пересчете на одного работающего в денежном выражении: максимальные значения за рассматриваемый период, достигнутые в 2008 г., составили 22777 руб./год или 1898 руб./мес.

В отношении заработной платы можно отметить, что в рассматриваемый период за исключением 2009 г. наблюдалось увеличение номинальной заработной платы, накопленным итогом в 2010 г. номинальная заработная плата выросла по сравнению с 2006 г. на 66 %. При этом реальная заработная плата (с учетом инфляции) выросла на значительно меньшую величину – на 11 %.

При анализе данных об изменении среднемесячной заработной платы необходимо учитывать уменьшение численности персонала, поскольку одной из провозглашаемых целей программ по оптимизации численности является именно рост заработной платы работников. В период с 2006 г. по 2010 г. происходило ежегодное сокращение численности персонала, которое в целом за рассматриваемый период вылилось в уменьшение среднесписочной численности работающих в 2,1 раза (с 24657 чел. до 11906 чел.).

Рассматривая динамику изменения количества прошедших обучение и переподготовку работников можно констатировать, что на ОАО «ЗСМК» начиная с 2007 г. происходило постоянное уменьшение их количества – в итоге в 2010 г. количество таких работников снизилось по отношению к уровню 2007 г. в 2,5 раза (с 14018 до 5527 чел.). При этом, несмотря на активно проводимые мероприятия по оптимизации численности персонала также уменьшалась и доля прошедших переподготовку и обучение работников от общего числа работающих – в 2008 г., 2009 г. и 2010 г. их доля снизилась на 1,8 %, 11,8 % и 2,0 % соответственно.

Таким образом, на основании проведенного анализа можно сделать вывод, что менеджментом предприятия недооценивается значимость таких аспектов деятельности в области КСО, как создание привлекательных рабочих мест и инвестиции в развитие человеческого потенциала.

ПОЭТАПНЫЙ ПРОЦЕСС ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ РИСКА ФИНАНСОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

ВАЛИШЕВСКАЯ Л.Г., МУСАТОВА А.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Для повышения эффективности и объективности анализа риска и обеспечения сопоставимости полученных результатов с другими показателями по анализу риска необходимо соблюдать следующие общие правила. Процесс анализа риска должен осуществляться в соответствии со следующими этапами: определение области применения; идентификация опасности и предварительная оценка последствий; оценка величины риска; проверка результатов анализа; документальное обоснование; корректировка результатов анализа с учетом последних данных.

Данный процесс показан на рисунке 1. Оценка риска включает проведение анализа частот и анализа последствий. Несмотря на то, что на рисунке 2 документация изображена в качестве отдельного блока, она разрабатывается на каждой стадии процесса. В зависимости от области применения рассматриваются лишь определенные элементы представленного процесса. Например, в некоторых случаях может оказаться, что нет необходимости выходить за рамки исходного анализа опасности и последствий.

Необходимым требованием является скрупулезное знание системы и используемых методов анализа. В том случае, если имеются результаты анализа риска для похожей системы, они могут быть использованы в качестве справочного материала. При этом необходимо доказать, что процессы являются похожими и, что внесение изменений не вносит существенных различий в процесс анализа риска.

Для повышения эффективности управления финансами и улучшения деловой активности предприятия необходимо выявить степень влияния риска на элементы финансового цикла. С этой целью предлагается проводить анализ риска по следующему алгоритму (рисунок 1) и оценить величину риска для выбора критического уровня анализируемых рисков.

Методы, используемые для оценки величины риска, обычно являются количественными, несмотря на то, что степень детализации при подготовке исходной информации зависит от конкретного применения. Однако полный количественный анализ не всегда возможен из-за недостатка информации о системе или деятельности, подвергающейся анализу, отсутствия или недостатка данных об отказе (аварии), влиянии человеческого фактора и т.п. При таких обстоятельствах может оказаться эффективным сравнительное количественное или качественное ранжирование риска специалистами, хорошо информированными в данной области. В тех случаях, когда проводится ка-

численное ранжирование, необходимо иметь четкое разъяснение всех используемых терминов и должно быть зафиксировано обоснование всех классификаций частот и последствий. В том случае, когда проводится полная количественная оценка величины риска, необходимо учитывать, что расчетные значения риска представляют собой оценки и следует позаботиться о том, чтобы их точность соответствовала точности используемых данных и аналитических методов.

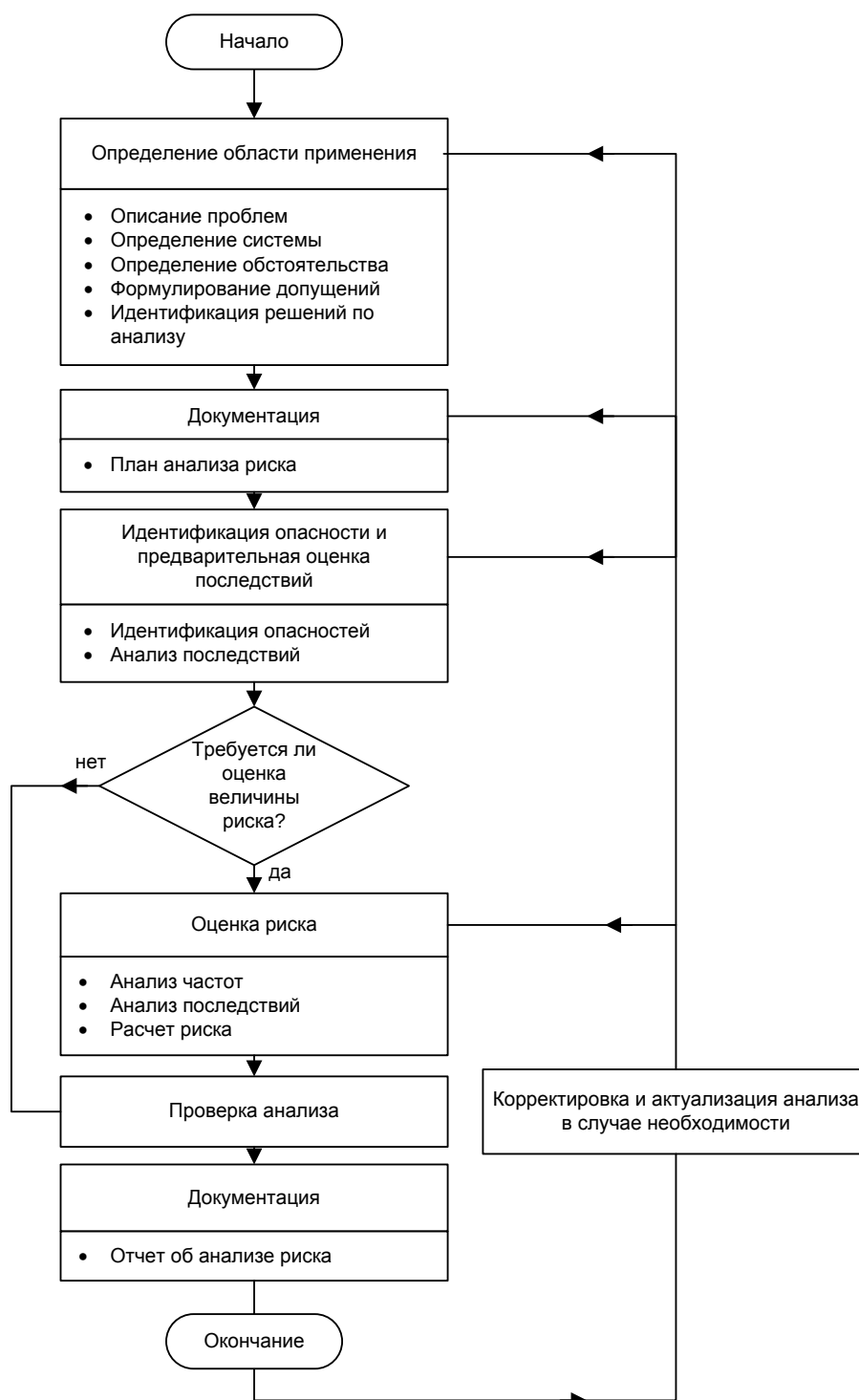


Рисунок 1 – Алгоритм процесса анализа риска

Элементы процесса оценки величины риска являются общими для всех видов опасности. Прежде всего, анализируются возможные причины опасности с целью определения частоты ее возникновения, продолжительности, а также характера (количественные характеристики, характеристики химического состава, характеристики выделения/использования и т.д.). В том случае, если анализу подвергается промышленное оборудование, в первую очередь проводится анализ частот, во вторую очередь анализу подвергаются последствия реализации опасности. В процессе анализа может возникнуть необходимость определения оценки вероятности опасности, вызывающей последствия, и проведения анализов последовательности обуславливающих событий.

Риск должен выражаться в наиболее подходящих показателях. Часто используемыми результатами вычислений являются:

- а) прогнозируемая частота (индивидуальный риск);
- б) диаграммы частоты в зависимости от последствия (социальный риск);
- в) ожидаемый размер потерь.

Если анализ риска используется для обеспечения непрерывного процесса управления риском, его необходимо выполнять и документировать таким образом, чтобы он мог корректироваться на протяжении всего жизненного цикла системы, оборудования или деятельности. Анализ должен обновляться по мере поступления новой информации и в соответствии с потребностями процесса управления.

Отчет об анализе риска документально обосновывает процесс анализа риска и должен включать в себя либо план анализа риска, либо ссылки на него и результаты оценки опасности. Техническая информация, представленная в отчете, является важной частью процесса анализа риска. В отчете должны быть разъяснены преимущества и ограничения используемых критериев риска.

Таким образом, для оценки степени риска финансовой деятельности предприятия предлагается проводить поэтапный процесс анализа риска по разработанному алгоритму.

УДК 338.24.01

МЕХАНИЗМ ПРИМЕНЕНИЯ ОПЕРАТИВНОГО ЛЕВЕРЕДЖА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПРИБЫЛИ

Валишевская Л.Г., Мусатова А.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Современный бизнес характеризуется высокой скоростью принятия управленческих решений. В условиях информационного недостатка и не

имеющейся возможности для тщательного анализа существующих альтернатив большую роль играют специальные инструменты, которые могут помочь оценить последствия принимаемых решений в первую очередь с финансовой точки зрения. Одним из таких универсальных инструментов является коэффициент операционного лeverеджа или просто операционный лeverедж, который представляет собой отношение темпа роста прибыли к темпу роста выручки от реализации. Механизм применения операционного лeverеджа зависит от того, какие факторы воздействуют на изменение выручки от продаж в плановом периоде по сравнению с базисным: динамика цен, либо динамика натурального объема продаж, либо оба фактора вместе. Как правило, на практике выручка возрастает или снижается под влиянием обоих факторов. Но при планировании прибыли важнейшее значение имеют степень и направление воздействия на выручку каждого фактора. Динамика выручки от продаж в результате снижения или роста цен на продаваемую продукцию сказывается на величине прибыли иначе, чем динамика выручки в результате увеличения или уменьшения натурального объема продаж. Изменение объема реализации зависит от двух факторов: цены реализации и объема реализованной продукции. Поэтому, разделяя влияние этих факторов, определяют два показателя операционного лeverеджа:

- натуральный операционный лeverедж, как отношение маржинальной прибыли к операционной прибыли (или прибыли до выплаты налогов и процентов);

- ценовой операционный лeverедж, как отношение выручки от реализации произведенных товаров к операционной прибыли (или прибыли до выплаты налогов и процентов).

Это означает, что операционный лeverедж выражается не одним, как минимум, двумя показателями, из которых один рассчитывается для случая, когда в плановом периоде меняются только цены на реализуемую продукцию, второй – для случая изменения только натурального объема продаж. При условии, что плановая выручка от продаж изменяется за счет обоих факторов, в расчетах применяются эти два показателя операционного лeverеджа. Формализация расчета каждого вида лeverеджа базируется на методе прямого счета прироста выручки от продаж и прибыли (или их снижения) в плановом периоде.

Практическое использование рассмотренного подхода разделения влияния указанных факторов на изменение объема реализованной продукции при расчете плановой прибыли от продаж представлено на примере металлургического производства.

Базисные данные: выручка от продаж – 3533 тыс. руб.э; переменные затраты – 1201 тыс. руб.; постоянные затраты – 801 тыс. руб.; прибыль от продаж – 1531 тыс. руб.

Рассматриваются возможные ситуации (*Sit*) изменения прибыли прогнозного (планового) периода по факторам, результаты расчетов представлены далее в таблице.

1. Влияние изменения ценового фактора на прибыль от продаж (*Sit A, B*). С помощью показателя ценового операционного левереджа рассчитывается плановая прибыль от продаж при условии изменения в плановом периоде только цены (ΔC).

Sit A. Если выручка от продаж увеличивается на 10 % за счет повышения цены. Следовательно, прибыль возрастет на 23,1 % и составит 1884,7 тыс. руб.

Sit B. Если выручка от продаж снижается на 10 % за счет снижения цен, следовательно, прибыль снизится на 23,1 % и составит 1177,3 тыс. руб. Таким образом, *Sit B* показывает каково максимальное допустимое снижение цен, чтобы продажи не стали убыточными, то есть чтобы выручка была не ниже критической и уменьшение прибыли должно быть не более, чем на 100 %. Так при снижении выручки на 45 % за счет снижения цен – прибыль снизится на 104 % и составит убыток 1592,24 тыс. руб. Поскольку темп снижения прибыли превышает 100 %, прибыль превращается в убыток.

Итак, если изменение спроса на продукцию выражается только через изменение цен, а натуральный объем продаж остается на базисном уровне, то вся сумма прироста или уменьшения выручки от продаж одновременно становится суммой прироста или снижения прибыли. Используя показатель ценового операционного левереджа можно определить финансовый результат от продаж прогнозного (планового) периода с положительным или отрицательным знаком.

2. Влияние изменения натурального объема продаж на прибыль (*Sit A, B*). С помощью показателя натурального операционного левереджа рассчитывается плановая прибыль от продаж при условии изменения в плановом периоде только натурального объема продаж (ΔV).

Sit A. Если выручка от продаж увеличивается на 10 % в результате соответствующего роста натурального объема продаж, следовательно, прибыль от продаж увеличится на 15,2 % и составит 1763,7 тыс. руб.

Sit B. Если выручка от продаж уменьшится на 10 % за счет соответствующего снижения натурального объема продаж, то прибыль снизится на 15,2 % и составит 1298,3 тыс. руб. В случае уменьшения натурального объема продаж более чем на 65 %, продажи стали бы убыточными, так как уменьшение прибыли превысило бы 100 %.

Следовательно, сравнивая результаты расчетов на основе ценового и натурального операционного левереджа было выявлено, что изменение цен в большей степени отражается на динамике прибыли от продаж, чем изменение натурального объема продаж. Поэтому при изменении выручки только за счет цен показатель операционного левереджа всегда будет выше, чем при изменении выручки только за счет натурального объема продаж.

Однако инструмент планирования прибыли от продаж был выше рассмотрен при идеальных условиях. Он пригоден только для случаев, когда динамика прибыли определяется одним фактором при неизменном другом:

либо меняются цены, но не меняется натуральный объем продаж, либо наоборот. В реальных условиях, как правило, происходит одновременное изменение и цен, и натурального объема продаж. Причем оба фактора могут действовать и в одном направлении и в противоположных направлениях.

3. Влияние одновременного изменения цены и натурального объема продаж на прибыль (*Sit A, B, B*).

Sit A. Если выручка от продаж снизится на 10 %, то снижение выручки от реализации произойдет в результате снижения и цены на 2 %, и сокращения натурального объема продаж на 8 %. Следовательно, при заданной ситуации прибыль от продаж снизится на 16,8 % по сравнению с базисным периодом и составит 1283 тыс. руб. Из анализа следует, что если действуют оба фактора, то степень риска находится в промежутке между расчетными значениями (16,8 % между 23 % и 15,2 %).

Sit B. Если выручка от продаж уменьшится на 10 % в результате снижения цены на 15 % и увеличения натурального объема продаж на 5 %, то прибыль от продаж снизится на 27,1 % и составит 1116,1 тыс. руб.

Sit B. Если выручка от продаж снизится на 10 % за счет снижения натурального объема продаж на 17 % и одновременном росте цен на 7 %. Тогда, в данной ситуации прибыль от продаж снизится на 3 % и составит 1485,1 тыс. руб.

Результаты рассмотренных ситуаций (таблица 1) показали, что предприятие рискует прибылью меньше, если выручка от продаж снижается по причине уменьшения натурального объема продаж, чем в случае, если она снижается в результате цен на каждую единицу реализуемой продукции при сохранении прежнего натурального объема продаж.

Таблица 1 – Ситуационное изменение прибыли в прогнозном периоде

Показатели	Базовые значения	Прогнозные значения по ситуациям (<i>Sit</i>)						
		1-а	1-б	2-а	2-б	3-а	3-б	3-в
		V = const		Ц = const		$\Delta Ц = \text{const} \downarrow$		$\Delta Ц \uparrow$
		$\Delta Ц \uparrow$	$\Delta Ц \downarrow$	$\Delta V \uparrow$	$\Delta V \downarrow$	$\Delta V \downarrow$	$\Delta V \uparrow$	$\Delta V \downarrow$
1. Объем продаж (оборот), млн. руб.	3533	3886,3	3179,7	3886,3	3179,7	3179,7	3179,7	3179,7
2. Прибыль, млн. руб.	1531	1884,7	1177,3	1763,7	1298,3	1283,0	1116,1	1485,1
3. Темп изменения прибыли к базе, %	–	+ 23,1	– 23,1	+ 15,2	– 15,2	– 16,8	– 27,1	– 3,0
4. Операционный левердж:								
- натуральный	1,52	1,52	1,52	1,52	1,52	1,52	1,52	1,52
- ценовой	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31	2,31

Если действуют оба фактора, то степень риска, то есть уровень операционного левереджа, находится в промежутке между рассчитанными значе-

ниями. Наименьший уровень предпринимательского риска имеет место в случае снижения натурального объема продаж, а наибольший – в случае снижения цен.

Таким образом, применение операционного леввереджа для планирования финансового результата от продаж позволяет не только определить изменения прибыли в прогнозном (плановом) периоде по сравнению с базисным, но и оценить факторы, влияющие на это изменение. Определенное сочетание динамики цен и натурального объема продаж обеспечивает размер прибыли продаж, необходимый предприятию. Зная это сочетание предприятие способно маневрировать индексами цен и натурального объема продаж, приближая условия спроса на продукцию к желаемым.

УДК 669:504

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЕ ПОЛУЧЕНИЕ ОКИСИ ХРОМА ПУТЕМ УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

ЛАЗАРЕВСКИЙ П.П., НОВИКОВ И.О., ОСАДЧИЙ К.К.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Одной из острейших проблем на современном этапе развития металлургической промышленности России является рациональное природопользование и охрана окружающей среды. По уровню выбросов вредных веществ в атмосферу и водоемы, образованию твердых отходов металлургия превосходит все сырьевые отрасли промышленности, создавая высокую экологическую опасность. Наибольшую угрозу представляют пыли и шламы, которые рассеиваются ветром при хранении.

Одним из видов техногенных отходов является пыль (ферропыль) от производства высокоуглеродистого феррохрома, при производстве которого, на одну тонну сплава образуется около 50 кг мелкодисперсной пыли. Суточная производительность оной печи 70 т/сут. Пыль из открытой печи имеет следующий химический состав, %: Cr_2O_3 22,5 – 43,6; SiO_2 10,0 – 15,5; CaO 0,2 – 0,4; MgO 25,2 – 33,1; Al_2O_3 3,2 – 5,4; FeO 4,1 – 6,0; C 5,4 – 6,2; S 1,0 – 1,2. Рентгенофазовый анализ ферропыли позволил определить, что преобладающей фазой является сложное оксидное соединение хромпикотит $(\text{Mg,Fe})(\text{Cr,Al})_2\text{O}_4$. Однако наряду с хромпикотитом в пыли присутствуют оксид магния (MgO) и силикат магния ($\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$). На сегодняшний день образующаяся пыль складывается на специальных полигонах и представляет опасность для окружающей среды.

В Сибирском государственном индустриальном университете на кафедре металлургии черных металлов, стандартизации и сертификации была проведена работа по получению «оксида хрома» из пыли от производства высокоуглеродистого феррохрома. Предлагаемый способ переработки пред-

ставляет собой единый технологический поток:

- получение концентрированного раствора монокромата натрия;
- восстановление монокромата натрия до гидрооксида хрома;
- прокаливание гидрооксида хрома для удаления гидратной влаги.

На первой стадии ферропыль подвергали окислительной прокатке в присутствии кальцинированной соды при температуре 1150 – 1250 °С. Соотношение компонентов рассчитано стехиометрически по реакции:



Количество кальцинированной соды принимаем на 20 % больше от стехиометрического, что является необходимым и достаточным для окисления всех компонентов пыли. Полученный спек выщелачивали водой при объемном соотношении твердой фазы к жидкой Т:Ж, равном 1:1 и температуре выщелачивания ~ 70 °С. Выщелачивание проводили в автоклаве с перемешиванием в течение одного часа. В результате была получена пульпа, состоящая из раствора монокромата натрия и шлама. После выщелачивания пульпу разделяли в нутч-филт্রে. Полученный раствор представляет собой раствор монокромата натрия с концентрацией хрома 130 – 150 г/л. Согласно химическому анализу наряду с монокроматом натрия в раствор переходят часть силикатов и ферритов натрия. Содержание примесей в полученном растворе не превышает 30 мг/л.

Химический состав шлама, %: Cr_2O_3 1,2; FeO 8,5; MgO 69,4 Al_2O_3 16,4. Дальнейшие исследования позволяют оценить возможность использования шламов после выщелачивания в качестве сырья для производства огнеупорных материалов. Предлагаемый способ позволяет получить степень извлечения хрома из пыли с содержанием Cr_2O_3 более 22,5% более 90%.

Полученный раствор монокромата натрия выщелачивали элементарной серой. Процесс основан на реакции образования гидрооксида хрома из монокромата натрия и серы в растворе при нагреве до 140 – 150 °С и давлении 4 – 6 кгс/см² в автоклаве по уравнению реакции:



Выщелачивание осуществляли в течение часа. Далее под высоким давлением содержимое автоклава перекачивали в нутч-филтър и промывали проточной водой. При этом на поверхности фильтровальной ткани образовался голубовато-зеленый осадок (гидрооксид хрома). Для того чтобы превратить гидрооксид хрома в оксид, осадок подвергали высокотемпературному нагреву в проколочной печи при температуре 600 °С. В результате прокатки был получен порошок серо-зеленого цвета. Химический состав продукта, %: Cr_2O_3 95,8; FeO 3,9. Дальнейшие исследования позволяют определить возможность использования получаемой «окиси хрома» для производства хрома металлического. Технологическая схема получения «окиси хрома» из ферропыли приведена на рисунке 1.

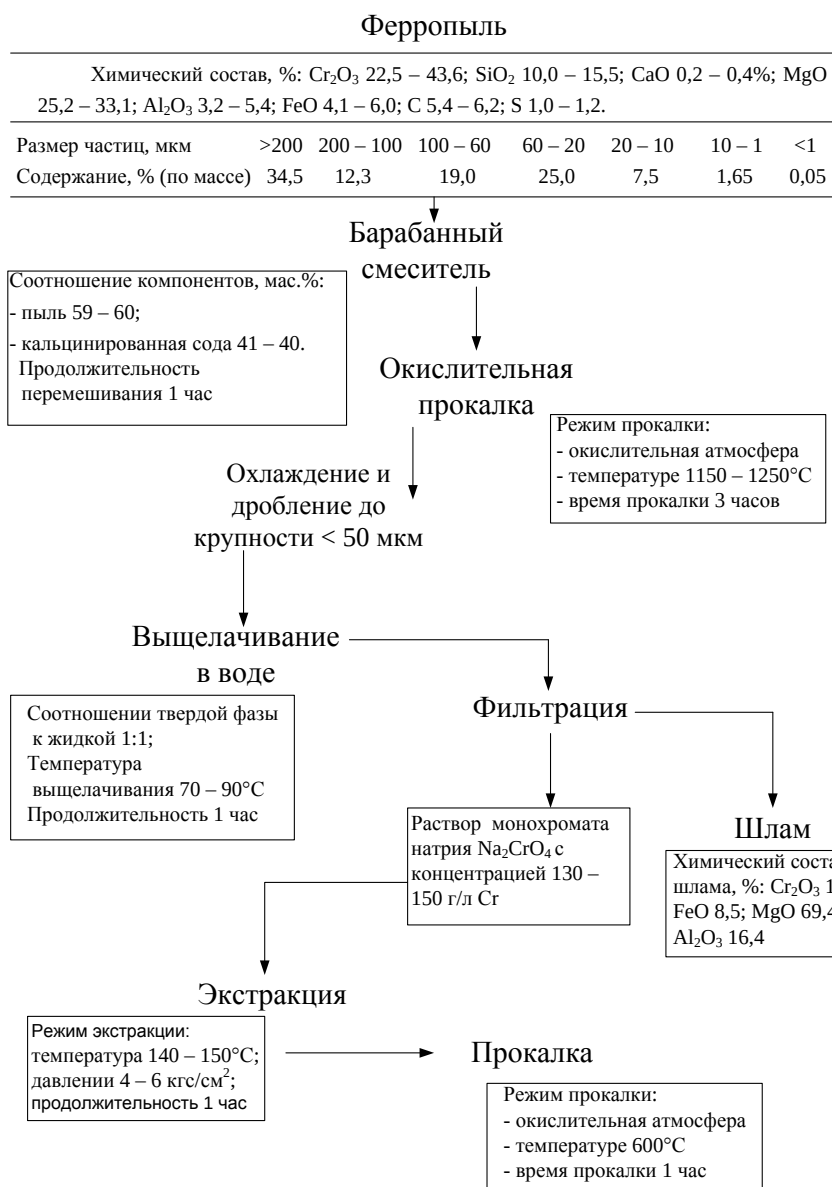


Рисунок 1 – Технологическая схема получения окиси хрома из ферропыли

УДК 004:005.6

О СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ИТ-УСЛУГ*

Зимин В.В., СЕЛЕЗНЁВ А.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Успех ИТ-компаний (провайдеров) сегодня в значительной степени зависит от того, насколько качественно они решают задачи повышения эффективности использования активов своих клиентов. Целью системы управле-

* Публикация подготовлена в рамках научного исследования, выполненного при поддержке государства, в лице Минобрнауки России.

ния качеством сервисного обслуживания, осуществляемого ИТ-провайдером), является предоставление клиентам рентабельных ИТ-сервисов с удовлетворительной для них ценностью и приемлемым риском. В докладе приводится краткое изложение задач, функций и структуры системы управления качеством предоставления ИТ-услуг, в основу которой положена нормативная модель процесса SLM (Service Level Management) библиотеки ITIL (версия 3) [1].

Задачи и функции системы управления качеством ИТ-услуг

К числу основных задач, решаемых системой управления качеством относятся:

- определение и документирование требований к уровню качества ИТ-сервисов (фиксируемых в SLAs) на основе проведения переговоров с представителями бизнеса;
- формирование каталога сервисов, включающего сервисы и сервисные пакеты с опциями, параметрами и ценами;
- разработка нормативной модели взаимоотношений между департаментами ИТ-провайдера и внешними поставщиками (OLAs);
- верификация подписанных контрактов (UCs) с точки зрения удовлетворения новых требований бизнеса;
- мониторинг функционирования ИТ-активов;
- актуализация положений соглашений SLAs, OLAs и UCs и контроль их выполнения.

Структура системы управления качеством функционирования ИТ-сервисов приведена на рисунке 1.

Управляющими воздействиями системы управления качеством (СУК) услуг являются: изменение каталога Sc ИТ-сервисов, внутренних активов Ain, выделяемых для обслуживания Sc, услуг Aex внешних поставщиков, контрактов UCs, подписанных с внешними поставщиками, соглашений с клиентами о качестве обслуживания (SLAs), стимулов St для персонала поддержки эксплуатируемых сервисов, запросов системы динамической оптимизации на выполнение мониторинга «проблемных» активов. Входами СУК являются сообщения об ИТ-происшествиях, SLAs, UCs, SC, Ain, Aex, выходами - информация о текущем статусе устраняемых происшествий, отчётность о выполнении требований SLAs, OLAs, UCs. Главная цель SLM – заключение и обеспечение фактического выполнения требований соглашений SLAs о предоставлении ИТ-сервисов.

Для оценки функционирования SLM предлагается использовать следующие показатели эффективности (таблица 1), часто применяемые на практике [2].

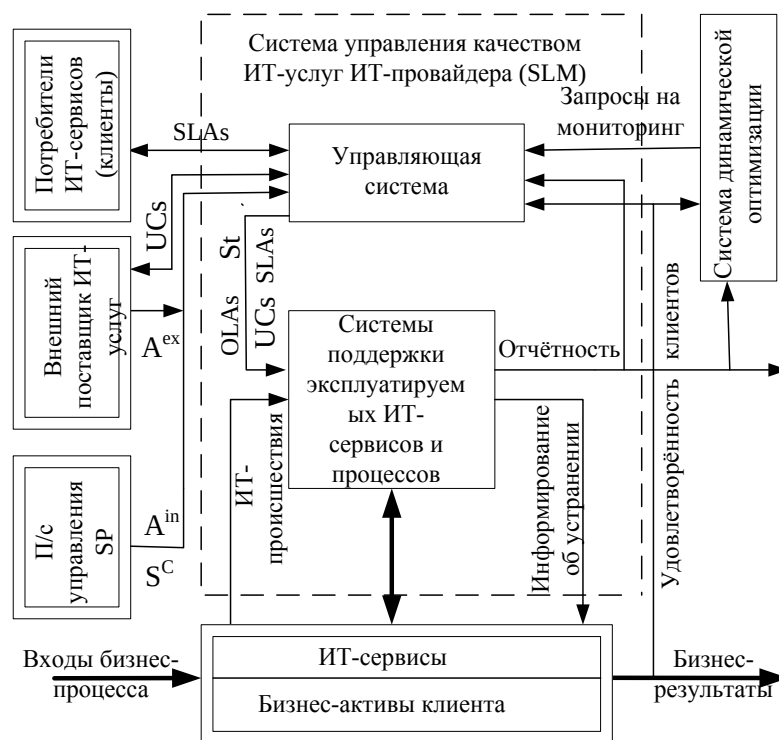


Рисунок 1 – Структура системы управления качеством обслуживания (S^C – каталог сервисов, A^{in} – активы для функционирования SLM, A^{ex} – ИТ-активы внешних поставщиков)

Таблица 1 – Предлагаемые метрики для SLM

Метрика	Описание
1.Число случаев нарушения SLA	Показывает, сколько раз не был обеспечен согласованный уровень сервиса
2.Число случаев, когда SLA находится под угрозой нарушения	Нарушения, которые серьезно угрожают пороговым значениям SLA
3.Процент SLA, требующих внепланового изменения	Случаи, когда требования SLA не могут быть выполнены ИТ-провайдером с положительной рентабельностью
4.Число пересмотров SLA, произведенных в плановом порядке	Для всех SLA должна быть предусмотрена дата планового обновления.
5.Число нарушений SLA по вине внешних поставщиков	Число нарушений SLA, создаваемых внешними подрядчиками
6.Превышение бюджетных затрат	Отклонение фактических затрат на функционирование системы от плановых
7.Число услуг, для которых нет SLA	Количество услуг, качество предоставления которых не регламентировано
8.Степень удовлетворенности клиентов	Оценка качества услуг клиентами

Выводы. Система управления качеством ИТ-сервисов позволяет выстраивать взаимовыгодные отношения между поставщиком услуг и клиентами посредством заключения соглашения о качестве обслуживания (SLA). После подписания SLA, последнее становится «планом» для SLM, который система обязана выполнять с затратами, не превышающими бюджет. Если процесс SLM с этой задачей не справляется, то система инициирует запрос об увеличении затрат на функционирование, либо ставит вопрос об ослаблении требований SLA.

Библиографический список

1. The Official Introduction to the ITIL Service Lifecycle,
2. London: TSO 2007. – 173p.
3. Метрики для управления ИТ-услугами/ Питер Брукс; Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2008 – 283с.

УДК 622.411.33:620.92

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШАХТНОГО МЕТАНА В КАЧЕСТВЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТОПЛИВА

СТЕРЛИГОВ В.В., РАЗМАХНИН Д.Е., СТЕРЛИГОВ М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
ЦКУ «Энергосбережение»
г. Новокузнецк*

Проблема использования шахтного метана как вторичного энергоресурса является актуальной во многих аспектах, начиная с безопасности труда шахтеров и заканчивая улучшением энергобалансов предприятий и территорий.

В настоящее время наиболее распространенной схемой использования шахтного метана в качестве энергоресурса является его применение для производства электроэнергии и тепла для нужд угледобывающих предприятий. Однако анализ количественных оценок процессов добычи угля, выхода метана и собственных энергетических потребностей шахт показывает, что существует возможность использования шахтного метана для разных технологических и энергетических потребностей с выдачей его с шахты сторонним потребителям.

Установленный Постановлением Правительства РФ № 562 от 12.07.11 уровень энергоэффективности при добыче угля определяется величиной 4,6 кг у.т./т.

При переходе к физическим величинам с учетом того, что условное топливо имеет теплоту сгорания 29,3 МДж/кг, получим ~135 МДж/т угля. Если принять, что шахтный метан содержит 80 % чистого метана (а в некоторых случаях и до 95 %), то его теплоту сгорания можно определить как

$$Q_{\text{т.м.}} = 0,8 Q_{\text{CH}_4} = 0,8 \cdot 38,36 = \sim 31 \text{ МДж/м}^3,$$

где теплота сгорания метана $Q_{\text{CH}_4} = 38,36 \text{ МДж/м}^3$ взята из справочника [1]. По практическим данным газоносность Кузнецких углей колеблется в пределах 15-80 м³/т, с оценкой средней величины 25 м³/т угля. Это означает, что запас энергии шахтного метана, извлекаемого при добыче 1 т угля, дает величину $25 \cdot 31 = 775 \text{ МДж/т}$ угля, что в пять с лишним раз больше нормативных затрат энергии (135 МДж/т), установленных Постановлением Правительства РФ № 562.

Если учесть неполное извлечение шахтного метана, а также всевозможные виды потерь его в натуральном виде и в виде энергии, то и тогда становится очевидным, что часть, и немалая, извлекаемого шахтного метана должна отдаваться шахтами на сторону.

Первым возможным потребителем должны стать котельные ЖКХ, работающие сейчас на угле. Их переустройство потребует большего объема инвестиций из муниципальных бюджетов, которые для всех территорий получают дотации и субвенции из областного бюджета, что приведет к затягиванию решения вопроса.

Другое дело – теплотехнические агрегаты производственных компаний, которые находятся в частной собственности. Эта деловая среда более подвижна и способна быстрее использовать энергетический ресурс в виде шахтного метана.

В первую очередь, это может касаться металлургических предприятий «Евраз холдинга», но они получили в наследство от социалистической системы газоснабжение от общегосударственных сетей и не имеют острых проблем по этой части.

Но в большинстве городов Кузбасса (Кемерово, Анжеро-Судженск, Юрга, Ленинск-Кузнецкий, Киселевск, Прокопьевск и др.) существуют машиностроительные заводы с мощными тепловыми установками в виде печей. Печи являются необходимым агрегатом на любых этапах металлургического передела (плавление, деформация, термообработка) и именно в металлургии в наибольшей степени отработаны требования и к качеству топлива и к способам его использования. Поэтому мы говорим о шахтном метане как «металлургическом топливе», стандарты и требования для которого давно разработаны [2].

Среди прочих требований к металлургическому топливу есть и требования минимального содержания серы и ее производных, что для малосернистых Кузнецких углей реализуется полностью.

Второе важное требование – наличие больших запасов топлива. Общие геологические запасы Кузбасса по шахтному метану оцениваются в 13 трлн. м³, из них 260 млрд. м³ находятся на разрабатываемых угольных полях. В настоящее время угледобыча в Кузбассе стабилизировалась на уровне 170-180 млн.т./год, что при уже заявленной выше газоносности 25 м³/т будет давать ежегодно 4,5 млрд. м³ шахтного метана. В настоящее время предпри-

ятия Кузбасса потребляют 3,2 – 3,4 млрд. м³ /г., что означает возможность развития газификации региона.

Вывод: Шахтный метан должен стать основным источником энергии для коммунальной и производственной сферы Кузбасса, при этом должно производиться комплексное использование этого энергоресурса.

Библиографический список

1. Энергетическое топливо, СССР, М., «Энергия», 1979 г., 125 с., Аронов С.Г., Скляр М.Г.
2. Топливо и топливное хозяйство металлургических заводов, СССР, М.: Металлургия, 1965 г., 397 с. под ред. И.Д. Семикина, С.И. Аверина, И.И. Радченко.

УДК 658.3

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ БЮДЖЕТА НА УПРАВЛЕНИЕ ПЕРСОНАЛОМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Фокин К.Б.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Формирование и защита бюджета в любой организации – это сложный, трудоемкий, а зачастую эмоционально окрашенный процесс, требующий от участников максимальной концентрации и хорошо развитых навыков переговоров, ораторских способностей и политических качеств. Особую значимость формирование и защита бюджета перед высшим менеджментом приобретает для HR служб, т.к. бюджет на персонал понимается большинством менеджеров, прежде всего, как затраты. Сюда обычно относят: фонд оплаты труда, социальные расходы, затраты на привлечение, увольнение, обучение персонала и связанные с этим расходы. Задача упрощается, если HR-директор обладает соответствующим авторитетом в компании, а финансовый директор «играет на его стороне». Но, как показывает практика, как правило, некоторая часть расходов на персонал все равно сокращается. Зачастую на это влияют установки по экономии бюджета и экономическая ситуация на предприятии.

Для решения непростой задачи «отказа» от части добросовестно подготовленных и рассчитанных бюджетных статей или их снижения предлагается методический подход включающий последовательность действий и графическое отображения возможных сокращений бюджета в соответствии с установками менеджмента компании.

Последовательность формирования и защиты бюджета:

1) Рассчитывать планируемые затраты на будущий период по всем статьям.

2) Совместно с высшим менеджментом выстроить безусловный список приоритетов с ранжированием статей и утвердить его. Выделить статьи, не подлежащие секвестрованию. Сформировать перечень рисков при сокращении каждой статьи.

3) Построить графическое отображение бюджета (рис. 1) в соответствии с утвержденным списком, где пунктирные линии показывают доленое сокращение тех или иных статей в зависимости от установок менеджмента компании по снижению бюджета. Траектория (угол наклона) каждой пунктирной линии и ее расположение также согласовывается и утверждается менеджментами компании.

4) При защите бюджета следовать принятым на будущий период установкам и в состоянии эмоционального спокойствия реализовать концепцию сокращения бюджета согласно указанной схеме.

5) По результатам защиты пересчитать доленое сокращение каждой статьи в фактические суммы по каждой секвестрованной статье.



Рисунок 1 – Графическое отображение вариантов изменения бюджета в зависимости от установок менеджмента компании

Использование представленного подхода позволит более взвешенно подходить к планированию и расчету бюджета будущих периодов, благодаря рациональному распределению приоритетов и корректной оценке рисков сокращения определенной статьи затрат. Кроме того, это позволит сбалансировать структуру бюджета в части включения наиболее необходимых расходов на реализацию кадровой политики.

Ключевым фактором необходимости использования представленного подхода является возможность проведения бюджетного процесса по «понятым правилам игры», оговоренным и утвержденным до начала процесса защиты всеми участниками. Это в значительной степени снимет напряженность и эмоциональный негатив, который, зачастую сопутствует формированию и, особенно, защите бюджета на персонал.

Представленный подход является достаточно универсальным, что предоставляет возможность использовать его не только в рамках бюджета на персонал, но и в других бюджетах других направлений.

УДК 658.3

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПОДГОТОВКИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ КАДРОВ ДЛЯ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНА

Фокин К.Б.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

В настоящее время для формирования и достижения стратегических целей организации требуются руководители и специалисты управления с высоким уровнем квалификации. Эффективная экономическая стратегия как на федеральном, региональном уровне, так и в условиях конкретного предприятия невозможна без создания адекватного механизма формирования, движения и использования трудового потенциала. В настоящее время важным звеном профессиональной подготовки квалифицированных специалистов является становление и развитие системы профессиональной подготовки управленческих кадров.

Современный этап развития национальной экономики ставит новые задачи перед системой высшего образования, и перед подготовкой квалифицированных менеджеров в частности. Задачей образования становится не простая передача накопленных знаний, а обучение будущих руководителей навыкам адаптации к быстро меняющимся экономическим и социальным условиям. Сегодня экономика предъявляет постоянный растущий спрос на работников, сочетающих в себе высокую профессиональную компетентность с творческими, управленческими и предпринимательскими способностями, с желанием и способностью коллективной работы и навыками социального

общения. То есть сегодня рынку нужны менеджеры-профессионалы, способные быстро ориентироваться в сложной, динамичной рыночной ситуации, а значит, они должны нестандартно мыслить, уметь анализировать, делать собственные выводы, принимать решения и брать на себя ответственность за эти решения.

Сложность формирования профессиональных управленческих кадров в условиях рыночных отношений объясняется тем, что ряд теоретических и методологических проблем в этой области до сих пор не получили необходимой проработки. В настоящее время большинство исследований в области методологии развития персонала направлено на разработку организационных форм обучения и выбор методов подготовки кадров управления. При этом недостаточно исследованы вопросы теоретических основ и единого методологического подхода к управлению развитием профессиональных менеджеров, их деловой карьеры, а также и оценки эффективности данных процессов. В связи с тем, что высока цена ошибок, допущенных в процессе подготовки и принятия управленческих решений, а эффективность управления социально-экономическими системами (предприятиями, организациями) все в большей степени зависит от уровня квалификации, компетентности, опыта, деловых качеств кадров профессиональных руководителей и специалистов управления, решение указанных проблем приобретает особое значение.

При изучении практики подготовки управленческих кадров выделены следующие основные тенденции:

- ориентация образовательных учреждений на подготовку специалистов в области менеджмента, маркетинга, экономики и финансов;
- возрастание спроса на рынке услуг дополнительного образования;
- повышение значимости управленческой практики для формирования профессиональных руководителей и специалистов;
- заинтересованность высших руководителей организаций в оценке эффективности затрат на развитие персонала и определение конечных результатов этой деятельности;
- возрастание роли оценки профессиональных (деловых) и личностных качеств руководителей и специалистов.

Использование этих тенденций при подготовке профессиональных кадров управления создает условия для повышения управленческого потенциала руководителей и специалистов, что в свою очередь играет ключевую роль в достижении эффективности предприятия. Это обусловлено тем, что выбор и внедрение в производство тех или иных технологий и методов организации труда, производства и управления напрямую зависит от команды высшего менеджмента предприятия, от профессионально-квалификационного уровня руководителей и специалистов, их умений принимать эффективные управленческие решения и обеспечивать реализацию этих решений.

Наряду с базовым высшим образованием, для крупных компаний актуальным является вопрос развития внутрифирменного обучения, с возмож-

ным привлечением профессиональных преподавателей. Создание в компании собственных систем формирования и развития менеджеров различных уровней обусловлено возрастающими ограничениями со стороны рынка дипломированных специалистов. Исследования среди соискателей и вновь принятых на работу сотрудников свидетельствуют о сложной ситуации, сложившейся в подготовке руководителей и специалистов, низком рейтинге существующих форм профессионального обучения. При этом, зачастую, отсутствует тесное сотрудничество между вузами и компаниями работодателями, так необходимое для качественной подготовки и успешной адаптации к работе будущих менеджеров. Условия профессиональной деятельности будущих менеджеров, сложившиеся в воображении студентов в процессе обучения, часто отличаются от реальных, предлагаемых работодателем. Преодолению этой разницы должно способствовать прохождение ежегодной практики различных видов. А в качестве показателя эффективности подготовки будущих руководителей в системе высшего профессионального образования необходимо рассматривать степень ориентированности образовательных программ на требования рынка труда.

УДК 658.3

ФОРМИРОВАНИЕ ПЕРЕЧНЯ РОДСТВЕННЫХ ПРОФЕССИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ

Фокин К.Б., Коновалова Н.О.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Профессиональное обучение, подготовка персонала и управление затратами на персонал являются составляющими функциональными блоками кадровой политики. Профессиональное обучение связано со значительными материальными издержками, поэтому формирование и контроль за исполнением бюджета являются важнейшими элементами управления профессиональным обучением. Актуальность проблемы обусловлена необходимостью повышения степени регламентации процессов планирования потребности в обучении персонала, так как на сегодняшний день отсутствует нормативный документ, позволяющий регулировать вопросы в отношении определения родственности профессий применительно к конкретному предприятию. В целях эффективного планирования финансовых затрат на подготовку кадров, оперативного формирования бюджета необходимо разрабатывать и внедрять в систему профессионального обучения перечень родственных профессий.

Внедрение такого перечня позволит, во-первых, осуществлять функ-

ционирование системы профессиональной подготовки рабочих кадров при выборе вида обучения при приеме/перевое работника на основе нормативно закреплённых понятий. Во-вторых, в случае родственности профессии, сократить сроки обучения. В-третьих, как следствие сокращения срока обучения, оформление допуска к самостоятельной работе, и освоение самостоятельных навыков работы не растягивается на долгий период. Также работник не будет демотивирован большими сроками обучения – по нарастающей лестнице обучения с профессии на другую профессию, либо по программе обучения через «подготовку нового рабочего», а значит, уменьшается риск увольнения работника из-за неудовлетворенности (заработной платой и бесконечно долгим обучением). И как следствие сокращения сроков обучения – сокращение затрат на подготовку работника.

Определение Перечня родственных профессий также позволит оптимизировать процесс обучения персонала, а именно сократить сроки обучения персонала. Например, персонал, имеющий квалификацию или стаж работы по родственной профессии обучения, направляется на *переподготовку* (ПП), если соответствующей квалификации или стажа работы по родственной профессии нет, то проводится *подготовка новых рабочих* (ПНР). Соответственно, при обучении работника на ПНР срок обучения увеличивается в два раза (в соответствии с программами обучения, согласованными в РТН), по сравнению с ПП, что влечёт за собой увеличение затрат.

Проанализировав нормативную документацию по обучению (типовое положение о непрерывном профессиональном и экономическом обучении кадров народного хозяйства, изучив определения терминов «Подготовка новых рабочих» и «Переподготовка», можно привести следующие выдержки. *Подготовка новых рабочих на производстве* – это первоначальное профессиональное и экономическое обучение лиц, принятых на предприятие и ранее не имевших профессии. *Переподготовка (переобучение)* организуется с целью освоения новых профессий высвобождаемыми рабочими, которые не могут быть использованы по имеющимся у них профессиям, а также лицами, изъявившими желание сменить профессию с учетом потребности производства. Однако есть и другая трактовка определения по термину «*Подготовка новых рабочих*», в связи с новыми требованиями под этот вид обучения попадают работники, не имеющие родственной профессии для той, на которую приняты и должны обучиться. Собственно, отсюда и возник вопрос и потребность в создании Перечня родственных профессий, который являлся бы законом/догмой для всех участников взаимодействия в вопросах организации профессиональной подготовки (производственные предприятия, учебные центры, РТН). Отсутствие такого закона ведет к увеличению затрат на подготовку.

Для того, чтобы избежать этих финансовых потерь в области подготовки персонала необходимо разработать Перечень родственных профессий на основе Общероссийского классификатора профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов; Единого тарифно-квалификационного

справочника работ и профессий рабочих, дополнений и изменений к ЕТКС и других нормативных правовых актов. В Перечне указать коды профессий рабочих, их наименования, родственные им профессии.

В случае положительного опыта «промышленной эксплуатации» предлагаемого Перечня в условиях действующего предприятия возможно формирование подобных перечней для всех предприятий отрасли, а затем и выход с законодательной инициативой об утверждении указанных перечней по металлургическим и горнорудным предприятиям на Федеральном уровне. Это позволит в значительной мере снизить риски возможных претензий по вопросам профессиональной подготовки со стороны РТН. Введение в действие Перечня родственных профессий позволит унифицировать определение потребности в обучении при приеме/перевode, а реализация данного процесса на базе функциональности системы SAP R/3 позволит, кроме того, оптимизировать процессы подбора персонала через сокращение времени определения возможности приема/перевода на ту или иную профессию, а также поиска наименее затратной схемы обучения для определенных профессий.

Представленная разработка является актуальной и экономически обоснованной, а ее реализация позволит не только поднять вопросы организации обучения персонала на более высокий уровень, но и позиционировать предприятие как передовую компанию, формирующую стандарты внутрикорпоративной профессиональной подготовки персонала.

УДК 658.3

УПРАВЛЕНИЕ КАДРОВЫМ РЕЗЕРВОМ: СТРУКТУРА ПОДГОТОВКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ ДОЛЖНОСТИ

Фокин К.Б.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Одной из наиболее важных составляющих в системе управления кадровым резервом руководителей является подготовка резервистов для обеспечения наличия у резервистов к моменту назначения на руководящую должность знаний, умений и навыков, необходимых им для работы в данной должности. Оценка уровня подготовленности кадрового резерва позволяет определить реальную потребность в обучении, какое количество резервистов и чему необходимо обучить, сколько времени потратить на подготовку работников и т.п. При этом наибольшую актуальность вопросы оценки состояния обученности резервистов приобретают при планировании обучения.

Альтернативой классическим составляющим структуры подготовки, представленной в многочисленных работах теоретиков и практиков по управлению персоналом (структура учета подготовленности резерва по

уровню обучения: теоретическое обучение в рамках программы подготовки КР, исполнение обязанностей в будущей должности, стажировка в другом подразделении/предприятии, защита выпускной работы) является оценка готовности кадрового резерва на основе наличия компетенций в зависимости от уровня должностей (таблица 1) подлежащих обеспечению кадровым резервом (ПОР). Схема предлагаемой структуры подготовки, выраженная в долях компетенций от уровня должности, представлена на рисунке 1.

Таблица 1 – Рекомендательные значения индивидуального возрастного показателя для различных уровней кадрового резерва

Уровень кадрового резерва	Должности
1	Начальник производства, управления, зам. директора
2	Начальник цеха, отдела, центра
3	Начальник участка, смены, бюро ст. мастер, мастер,

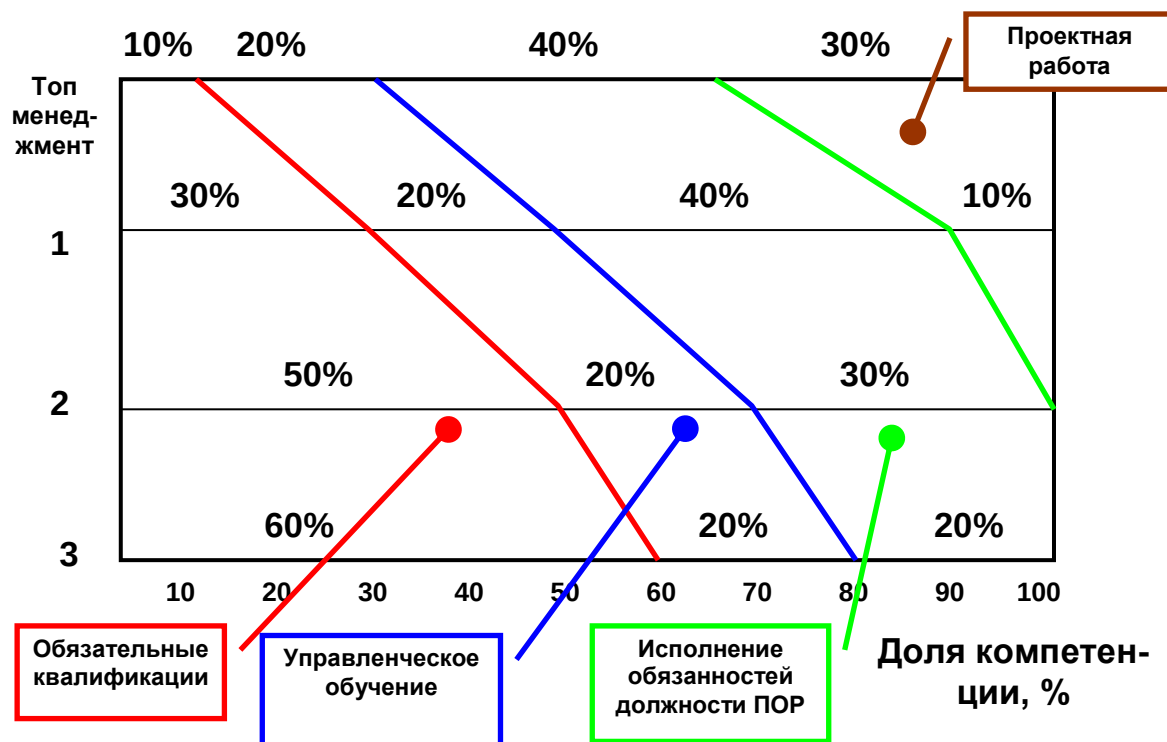


Рисунок 1 – Распределение компетенций руководящих должностей в зависимости от уровня* должности ПОР

При оценке уровня подготовленности кадрового резерва особое внимание необходимо обращать на уровень подготовки «горячего» (резерва на должности ПОР, которые могут освободиться по различным причинам в ближайшее время) резерва, что позволяет исключить ситуации, когда на руководящие должности назначаются неподготовленные работники. Возможность предварительного определения (указания) возраста руководителей, за-

нимающих должности ПОР, при формировании аналитических отчетов по данному показателю, позволяет проводить перспективное прогнозирование и необходимость подготовки КР как в подразделении, так и в рамках всего предприятия в целом. При анализе данного направления работы с кадровым резервом предусматривается вывод списков работников, занимающих должности ПОР, и работников, стоящих на них в «горячем резерве», с указанием соответствующего уровня подготовки. Кроме того, при анализе необходимо предусмотреть возможность формирования отчета о фактическом уровне подготовки кадрового резерва, включающего списки резервистов по подразделению с указанием соответствующего уровня подготовки.

Обязательные квалификации – квалификации, обучение которым необходимо проводить в соответствии с требованиями надзорных органов. Как правило, к ним относят требования РТН, различных и аттестационных сертификационных организаций, а также обязательные требования внутренних нормативных документов (например, системы менеджмента качества).

Управленческое обучение – обучение, направленное на развитие управленческих навыков. Это различные тренинги по эффективному выступлению, переговорам, конфликтологии, управлению людьми, планированию, постановке задач, таймменеджменту, финансовому и проектному менеджменту.

Исполнение обязанностей должностей ПОР – система планирования, регламентации, организации и учета процесса исполнения обязанностей будущей должности резервистами, состоящими на нее в резерве и проходящими процесс подготовки.

Проектная работа – участие в различных ролях в проектной деятельности.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ	3
Ноздрин И.В., Бехтерева М.Н. Переработка цинксодержащих шламов химико-металлургических производств	3
Антонов В.П. Создание направленного затвердевания стального слитка в процессе разливки.....	4
Романов Д.А., Будовских Е.А., Громов В.Е. Формирование структуры, фазового состава и свойств электроэрозионностойких покрытий методом электровзрывного напыления.....	11
Малушин Н.Н. Обеспечение качества, надежности и долговечности наплавленных деталей металлургического оборудования на всех этапах жизненного цикла	13
Вострецов Г.Н., Вострецова Т.Г. Использование высокоэнергетических сварочных источников тепла для наплавки теплостойкими инструментальными сталями деталей металлургического оборудования	24
НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ	31
Фейлер С.В., Протопопов Е.В. Исследование влияния гидродинамики металла в промежуточном ковше на качество слябовой заготовки	31
Уманский А.А., Чернышева Н.А. Исследование влияния параметров транспортировки и нагрева слитков на качество макроструктуры слябовой заготовки в условиях ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»	33
Романенко Ю.Е., Рожихина И.Д. Исследование взаимодействия оксидов марганца с углеродом при бесконтактном (косвенном) восстановлении	35
Дмитриенко В.И., Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Платонов М.А., Дмитриенко А.В. Разработка технологии модифицирования стали барием и стронцием, входящими в состав природных материалов	37

Кичигина О.Ю., Нохрина О.И., Дегтярь В.А. Комплексная переработка марганецсодержащего сырья и использование продуктов переработки.....	39
Рожихина И.Д., Лазаревский П.П., Лубяной Д.Д., Мельниченко С.А., Татаркина А.Г. Изучение технологических свойств кварцитов Сунгайского рудопоявления	42
Голодова М.А., Рожихина И.Д., Дмитриенко В.И., Нохрина О.И. Исследование процессов восстановления ванадия и оптимизация технологии обработки стали конвертерным ванадиевым шлаком	44
Ноздрин И.В., Ширяева Л.С., Руднева В.В. Оптимизация параметров плазмометаллургического синтеза нанокарбида хрома	46
Ноздрин И.В., Галевский Г.В., Ширяева Л.С., Руднева В.В. КЭП на основе никеля с нано- и микропорошками карбонитрида и карбида хрома	48
Пулотова З.М., Галевский Г.В. Исследование плазменного синтеза карбида титана с применением планируемого эксперимента.....	50
Крутский Ю.Л., Баннов А.Г., Дюкова К.Д., Антонова Е.В. Синтез высокодисперсных порошков карбидов бора, титана и хрома с использованием нановолокнистого углерода	52
Минцис М.Я., Албердина А.В. Исследование кинетики эмиссии смолистых веществ из каменноугольного пека	53
Селянин И.Ф., Феоктистов А.В., Бедарев С.А. Лабораторная установка для исследования прочностных характеристик твердого топлива, используемого в шахтных печах	55
Деев В.Б., Селянин И.Ф., Прохоренко А.В., Пономарева К.В., Бинас О.В. Теоретические аспекты влияния физических воздействий на процесс кристаллизации расплавов и качество литья	58
Деев В.Б., Цецорина С.А., Прохоренко А.В., Пономарева К.В., Бинас О.В. Использование физических модифицирующих воздействий на расплавы в литейных технологиях	61

Уманский А.А., Мартьянов Ю.А.	
Анализ влияния параметров деформации на выработку поверхностных дефектов заготовок при прокатке на стане 250-2 ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»	64
Гришунин В.А., Соломатина Е.В., Комиссарова И.А., Коновалов С.В., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е.	
Влияние электронно-пучковой обработки на фазовый состав и тонкую структуру рельсовой стали, подвергнутой многоциклового усталости	66
Фастыковский А.Р., Рыков К.В.	
Развитие способа непрерывного прессования «Конформ»	68
Перетятыко В.Н., Панамарев В.А., Лактионов С.А.	
О вытяжке тонкой цилиндрической оболочки из металлической заготовки в состоянии ползучести	70
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	72
Литвиненко Н.Г., Загуляев Д.В., Коновалов С.В., Мясникова В.И., Комиссарова И.А., Громов В.Е.	
Влияние магнитного поля на микротвердость алюминия с разным содержанием примесей	72
Бащенко Л.П., Райков С.В., Иванов Ю.Ф., Будовских Е.А., Громов В.Е.	
Особенности структуры поверхности титана ВТ1-0 после электровзрывного карбоборирования	74
Косинов Д.А., Шляхова Г.В., Баранникова С.А., Зуев Л.Б., Мясникова В.И., Громов В.Е.	
Влияние электролитического насыщения водородом на локализацию пластической деформации в монокристаллах аустенитной стали	76
Райков С.В., Соскова Н.А., Иванов Ю.Ф., Ионина А.В., Будовских Е.А., Громов В.Е.	
Структура поверхности сплавов титана после электровзрывного науглероживания с карбидом кремния и последующей электронно-пучковой обработки	78
Райков С.В., Соскова Н.А., Иванов Ю.Ф., Ващук Е.С., Будовских Е.А., Громов В.Е.	
Электровзрывное науглероживание с диборидом титана поверхности титанового сплава ВТ6 и последующая электронно-пучковая обработка	80

Дябденков В.В., Микрюков В.Р., Полетаев Г.М., Старостенков М.Д., Громов В.Е., Мясникова В.И.	
Исследование методом молекулярной динамики структурных превращений, происходящих при кристаллизации никеля	82
СВАРКА: НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.....	84
Шурупов В.М., Козырев Н.А., Игушев В.Ф.	
Тренажер для обучения сварщиков	84
Чинахов Д.А., Майорова Е.И.	
Влияние газодинамики на геометрию шва при сварке плавящимся электродом	86
Филонов А.В., Микулич А.Е.	
Современные способы крепления сопла на сварочной горелке	88
Степанов А.П., Сотокина Ю.В.	
Модель электрической сварочной дуги.....	90
Крампит А.Г., Крампит Н.Ю., Крампит М.А.	
Области управляемого переноса электродного металла	92
Крампит А.Г., Крампит М.А., Дмитриева А.В.	
Метод скоростной киносъемки для изучения процесса плавления и переноса электродного металла в сварочной дуге	94
Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е.	
Ковальский И.Н., Шурупов В.М.	
Исследование и разработка новых сварочных материалов для сварки резервуаров северного исполнения	96
Ковальский И.Н., Игушев В.Ф., Козырев Н.А., Крюков Р.Е.	
Технология сварки строительных конструкций северного исполнения	98
Вострецова Т.Г., Вострецов Г.Н.	
Некоторые принципы выбора типа наплавленного металла для восстановления прокатных валков	100
Григорьева Е.Г., Чинахов Д.А.	
О возможности использования разработанного способа сварки с двухструйной газовой защитой для восстановления изношенных поверхностей деталей.....	102
Гордин С.О., Рудаков С.Г.	
Состояние электродного производства, проблемы обеспечения материалами.....	104

Гордин С.О., Рудаков С.Г.	
Производство омедненной сварочной проволоки с учетом рециклинга материалов	106
Гордин С.О., Рудаков С.Г.	
Высококачественные краски для маркировки сварочных электродов	108
Малушин Н.Н., Райков С.В.	
Оценка качества опытно-промышленных партий наплавленных деталей на основе алгоритмов малой выборки	110
Малушин Н.Н., Рыбьянец В.А.	
Статистический анализ долговечности и качества рабочих валков холодной прокатки.....	112
ЭКОНОМИКА, ЭКОЛОГИЯ И УПРАВЛЕНИЕ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	115
Галевский С.Г.	
Анализ методов прогнозирования банкротства предприятий минерально-сырьевого комплекса.....	115
Думова Л.А., Уманский А.А.	
Анализ состояния системы корпоративной социальной ответственности на ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК».....	117
Валишевская Л.Г., Мусатова А.И.	
Поэтапный процесс оценки степени риска финансовой деятельности предприятия.....	119
Валишевская Л.Г., Мусатова А.И.	
Механизм применения оперативного левереджа при прогнозировании прибыли	121
Лазаревский П.П., Новиков И.О., Осадчий К.К.	
Ресурсосберегающее получение окиси хрома путем утилизации техногенных отходов	125
Зимин В.В., Селезнёв А.А.	
О системе управления качеством ИТ-услуг.....	127
Стерлигов В.В., Размахнин Д.Е., Стерлигов М.В.	
Использование шахтного метана в качестве технологического топлива	130
Фокин К.Б.	
Методический подход к формированию бюджета на управление персоналом в зависимости от экономической ситуации предприятия.....	132

Фокин К.Б.

Актуальные вопросы подготовки управленческих кадров
для экономики региона134

Фокин К.Б., Коновалова Н.О.

Формирование перечня родственных профессий
как инструмент совершенствования процессов
профессиональной подготовки136

Фокин К.Б.

Управление кадровым резервом: структура подготовки
в зависимости от уровня должности138

МЕТАЛЛУРГИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, УПРАВЛЕНИЕ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО

Труды Всероссийской научно-практической конференции

Издательская лицензия № 01439 от 5.04.2002 г.

Под общей редакцией Е.В. Протопопова

Технический редактор С.П. Ознобихина

Компьютерная верстка Е.Ф. Мелещук

Подписано в печать 11 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 8,69. Уч.-изд. л. 9,22. Тираж 300 экз. Заказ .

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.
Издательский центр СибГИУ