

Федеральное агентство по образованию

ГОУ ВПО «Сибирский государственный
индустриальный университет»

ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат»

ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат»

ЗАО «Кузбасская ярмарка»

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

*Труды Всероссийской научно-практической конференции
6 – 9 октября*

Новокузнецк
2009

УДК 669(06)+658.012.056(06)

Металлургия: технологии, управление, инновации, качество: Труды Всероссийской научно-практической конференции / Сибирский государственный индустриальный университет; Под ред. Е.В. Протопопова – Новокузнецк, 2009. – 427 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 Е.В. Протопопов, д.т.н., профессор С.М. Кулаков,
д.т.н., профессор О.И. Нохрина, д.т.н., профессор В.Ф.Евтушенко,
д.т.н., профессор Е.В. Пугачев, к.т.н., профессор В.В. Стерлигов,
к.т.н., профессор С.Г. Рудаков, к.т.н., доцент М.В. Кипервассер

ISBN 5-7806-0245-5

© Сибирский государственный
индустриальный университет,
2009

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 669.046:621.74.04

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ

Протопопов Е.В., Комшуков В.П., Ганзер Л.А., Фойгт Д.Б.

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

Современные тенденции в развитии экономики, ориентация металлургического комплекса России на мировой рынок, необходимость соблюдения принципов международной торговли металлом заставляют пересматривать традиционные требования к качеству металлопродукции.

Безусловно, переход на непрерывную разливку стали позволил значительно улучшить качество металла, в первую очередь макроструктуру слитка, вследствие снижения химической неоднородности из-за более быстрого затвердевания малых по сечению отливаемых слитков, а также эффективной внепечной обработки стали в ковше и изменения технологии процесса в целом. При этом сталеплавильное производство все в большей степени развивается по пути функционального разделения задач получения полупродукта в агрегате и доводки стали в сталеразливочном ковше и машине непрерывного литья заготовок в зависимости от марки и потребительских свойств металлопродукции.

В настоящее время непрерывная разливка стали представляет собой сложную динамически развивающуюся систему технологических и конструктивных решений, предусматривающих рафинирование металла в промежуточном ковше МНЛЗ (продува аргоном, обработка порошковой проволокой, подогрев металла и т.п.); электромагнитное воздействие, обеспечивающее перемешивание жидкой фазы непрерывного слитка, «мягкое» обжатие слитка с жидкой сердцевиной с целью подавления осевой пористости и ликвации и т.д.

Перспективным способом повышения качества внутренней структуры непрерывнолитой заготовки является применение добавок ультрадисперсных тугоплавких веществ, обладающих проводимостью металлического типа – так называемых нанопорошковых модификаторов. Являясь активными центрами кристаллизации с высокой удельной поверхностью, нанопорошковые модификаторы (Y_2O_3 , TiN, TiCN и др.) обеспечивают ускоренное и более равномерное затвердевание стали в жидкой лунке непрерывного слитка, диспергирование зерна, измельчение и рассредоточение неметаллических включений [1 – 3]. Кроме того, применение нанопорошковых модификаторов приводит к преимущественно объемному затвердеванию с образованием

однородной дисперсной структуры глобулярных кристаллов, к подавлению ликвационных процессов [4 – 5].

Однако эти свойства ультрадисперсных тугоплавких материалов проявляются в результате их специальной обработки (активации), заключающейся в нанесении на поверхность частиц активированного переходного слоя, обеспечивающего хорошую смачиваемость расплавом, предохраняющим от коагуляции и окисления, и вызывающего рост кристаллической фазы при небольших переохлаждениях. Поэтому синтезированные, в основном, в реакторах с электродуговыми плазматронами нанопорошки обычно подвергаются дополнительному диспергированию и плакированию соответствующим металлом в центробежных планетарных мельницах, что, безусловно, требует дополнительных затрат.

В этой связи практический интерес представляет получение наноразмерных тугоплавких соединений заданного химического состава с помощью самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Суть этого метода заключается в локальном инициировании экзотермической смеси реагентов, в результате чего в смеси формируется самопроизвольно распространяющаяся тепловая волна, после прохождения которой при определенных условиях происходит синтез наночастиц с размерами от 40 до 400 нм. При этом тугоплавкие частицы находятся в металлической матрице, состав которой может быть задан заранее. После дробления полученного конгломерата в обычной шаровой мельнице получают ультрадисперсную композицию в виде порошка, содержащего тугоплавкие наночастицы, плакированные металлом, которые гранулируются в более крупные сферические частицы для улучшения сыпучести, в том числе в процессе дозирования при дальнейшем закатывании их в порошковую ленту.

Исследование эффективности модифицирования металла нанопорошковыми материалами, полученными методом плазмохимического синтеза (оксид иттрия Y_2O_3 , нитрид титана TiN и их смесь) в кристаллизаторе сортовой машины непрерывного литья заготовок ОАО «ЗСМК» показало повышение характеристик макроструктуры и снижение развития внутренних дефектов непрерывнолитой заготовки (центральной пористости, осевой химической неоднородности, ликвационных полосок и трещин).

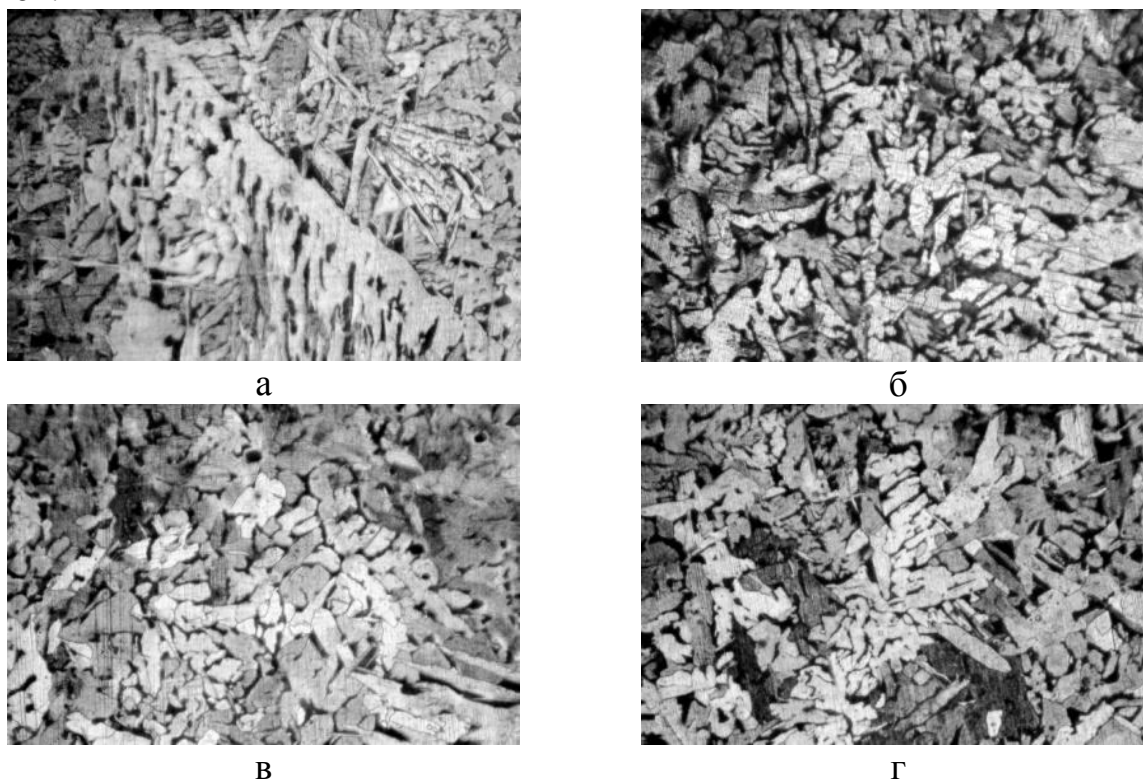
Предварительно нанопорошковые модификаторы закатывали в проволоку с оболочкой из стали 08кп толщиной 0,4 мм, получая собственно нанопорошковые инокуляторы (НПИ). Диаметр проволоки вместе с оболочкой составлял 3,6 мм. Линейная плотность нанопорошков была равной 16,4, 10,1 и 11,3 г/м проволоки из оксида иттрия, нитрида титана и их смеси соответственно.

Исследовали влияние модифицирования металла нанопорошковыми инокуляторами на примере стали марки СтЗсп, выплавленной в 350-т конвертере. После выпуска металл доводили до требуемого химического состава и необходимой для разлива температуры на агрегате ковш-печь, а затем разливали на восьмиручьевой криволинейной МНЛЗ с сечением кристалли-

затра 150×200 мм. Порошковую проволоку подавали в кристаллизатор на восьмом ручье со скоростью 1,7 – 2,9 м/мин в зону около погружного стакана с помощью переносного трайбаппарата при разливке со скоростью 1,7 – 1,8 м/мин. Температура стали в промежуточном ковше при разливке была равной 1560 – 1565 °С (превышение над температурой ликвидуса 45 – 50 °С). Общая концентрация нанопорошкового инокулятора в металле составляла 0,006 – 0,014 %, а без хрома (чистого модификатора) 0,003 – 0,007 %.

После разливки от заготовок отрезали образцы: поперечные толщиной 30 – 40 мм для определения химического состава стали, изучения макро- и микроструктуры и продольные толщиной 120 – 150 мм для проведения механических испытаний.

На рисунке 1 представлены фотографии шлифов в поперечном сечении слитка, характеризующие структуру литого металла в осевой области заготовки без применения нанопорошковых инокуляторов и с их применением. Видно, что даже небольшая добавка модификатора вызывает измельчение структуры зерна и изменение ее морфологии. При этом наибольший эффект наблюдали в случае применения нитрида титана, что подтвердилось и улучшением механических свойств модифицированных непрерывнолитых заготовок.



а – без НПИ; б – с TiN + Cr; в – с TiN + Y₂O₃ + Cr; г – с Y₂O₃ + Cr

Рисунок 1 – Структура металла в приосевой области поперечного сечения слитка, ×100

Однако технологические особенности введения порошковой проволоки в кристаллизатор МНЛЗ и ограниченные технические возможности не позволили увеличить концентрацию модифицирующих соединений до рекомендуемых значений, поэтому на втором этапе исследования модифицирование проводили в промежуточном ковше МНЛЗ.

В качестве модифицирующих порошков выбрали нитрид и карбонитрид титана. На основе нанодисперсных порошков подготовили композиции тугоплавких соединений:

– опробованный ранее нитрид титана (TiN), полученный методом плазмохимического синтеза, с размером частиц 40 нм, где в качестве металла-протектора использовали металлический хром. Плакирование осуществляли в шаровой мельнице при соотношении $TiN:Cr = 1:1$;

– карбонитрид титана (TiC_xN_y), полученный методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), с размером частиц 15 – 40 нм в плакирующей матрице из углеродистой стали при их соотношении 1:1.

Полученные композиции НПИ для повышения сыпучести далее подвергали гранулированию с получением сферических частиц размером 0,3 – 1,0 мм. Гранулированные композиции модифицирующих нанопорошков-инокуляторов $TiN-Cr$ и $TiCN-Fe$ закатывали в стальную ленту с линейным наполнением, соответственно, 234,0 и 260,8 г/м ленты.

Порошковую ленту с НПИ подавали с помощью трайбаппарата со скоростью 2,0 – 7,5 м/мин в приемную ванну правого промежуточного ковша сортовой МНЛЗ при скорости вытягивания слитка 2,2 – 2,4 м/мин.

Перегрев металла над температурой ликвидус при разливке опытных плавок составлял 38 – 45 °С (правый промежуточный ковш), сравнительных 34 – 46 °С (левый промежуточный ковш).

В зависимости от концентрации основного вещества НПИ в металле химический состав стали в промежуточном ковше изменялся в следующих пределах: титан – 0,0002 – 0,0003 %; азот – при концентрации основного вещества НПИ 0,015 – 0,025 % от – 0,0001 до + 0,0001 %, а при повышении более 0,030 % – от – 0,0001 до + 0,0006 %; хром (с $TiN-Cr$) – при концентрации основного вещества НПИ 0,015 % – его содержание увеличилось на 0,003 %, а при повышении концентрации более 0,030 % – на 0,011 – 0,012 %; углерод (с $TiCN-Fe$) – при повышении концентрации основного вещества НПИ более 0,025 % – его содержание увеличилось на 0,003 – 0,008 %.

Результаты исследования плотности непрерывнолитых заготовок представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что плотность модифицированного металла увеличилась при использовании как $TiN-Cr$, так и $TiCN-Fe$:

– при 0,026 – 0,043 % $TiCN$ в среднем на 65 кг/м³ (или на 0,84 %);

– при 0,015 – 0,047 % TiN в среднем на 63 кг/м³ (или на 0,81 %);

Максимальное увеличение плотности получено при введении НПИ в пределах 0,015 – 0,026 % по основному веществу: 73 кг/м³ или 0,94 %

(0,015 % TiN) и 82 кг/м³ или 1,05 % (0,026 % TiCN). При повышении концентрации основного вещества НПИ в стали выше указанного эффективность снижается.

Таблица 1 – Изменение плотности непрерывнолитых заготовок, модифицированных нанопорошковыми инокуляторами

Слитки	НПИ	Концентрация основного вещества НПИ в стали, %	Изменение удельной плотности	
			г/м ³	%
Опытные	TiCN-Fe	0,038	+ 0,064	+ 0,82
		0,026	+ 0,082	+ 1,05
		0,043	+ 0,048	+ 0,62
	Среднее TiCN-Fe	0,036	+ 0,065	+ 0,84
	TiN-Cr	0,033	+ 0,065	+ 0,84
		0,015	+ 0,073	+ 0,94
		0,047	+ 0,051	+ 0,66
	Среднее TiN-Cr	0,032	+ 0,063	+ 0,81
	Среднее по опытным	0,034	+ 0,064	+ 0,82
Сравнительные	-	-	-	-

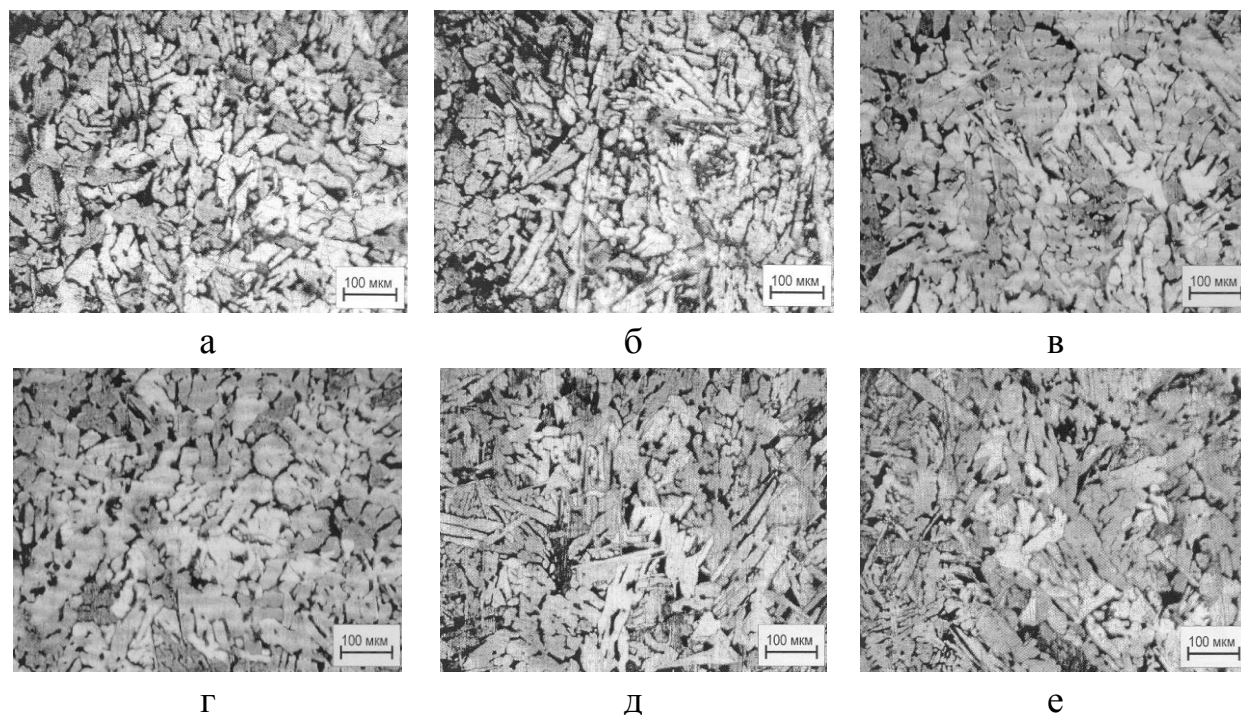
При введении порошковой проволоки с НПИ в пределах 0,003 – 0,007 % в кристаллизатор [5] повышение плотности металла составляло в среднем 38 кг/м³ (или 0,48 %) при колебании значений 23 – 56 кг/м³ (0,3 – 0,7 %), в том числе при вводе НПИ с TiN-Cr (0,003 %) – 23 кг/м³ (0,3 %), т.е. ниже полученных результатов при введении ленты в промежуточный ковш.

На рисунке 2 представлена макроструктура опытных образцов в центральной области поперечного сечения сортовой заготовки.

Нетрудно видеть, что, как и в предыдущем случае модифицирования нанопорошковой проволокой [5], произошло существенное изменение морфологии и размера кристаллических зерен. Вместо игольчатой дендритной структуры в слитке сформировалась глобулярная либо смешанная дендритно-глобулярная структура.

Изучение макроструктуры опытных и сравнительных непрерывнолитых заготовок показало снижение балльности развития внутренних дефектов слитка (центральной пористости – ЦП, осевой химической неоднородности – ОХН, ликвационных полосок и трещин – ЛПТ), общего сокращения области столбчатых и увеличения равноосных кристаллов и корочки на опытных образцах.

При этом лучшие показатели получены при концентрации основного вещества в пределах 0,015 – 0,026 %, что выше, чем при подаче порошковой проволоки с НПИ (0,003 – 0,007 %) в кристаллизатор.



а – с TiN+Cr (0,015); б – сTiN+ Cr (0,033); в – с TiN +Cr (0,047);
 г – с TiCN+Fe (0,026); д – с TiCN+Fe (0,038); е – с TiCN+Fe (0,043)

Рисунок 2 – Структура металла в осевой области сортовой заготовки, $\times 100$

Структурные составляющие слитка рассматривали как изменение площади поперечного сечения слитка, занимаемой корочкой, дендритной и эквиаксиальной зонами, а также размеров дендритных осей I порядка. На опытных заготовках с введением в жидкую сталь нанопорошковых модификаторов отмечено улучшение всех показателей. Как и в случае изменения балльности дефектов макроструктуры, максимальное улучшение соотношения структурных составляющих слитка было получено в пределах концентрации основного вещества 0,015 – 0,026 %, что наиболее ярко выразилось в увеличении практически в 2 раза эквиаксиальной зоны.

Аналогично выглядит картина и по отношению к способу ввода добавок в жидкую сталь. При введении НПИ в промежуточный ковш с помощью порошковой ленты в количестве 0,015 – 0,026 % эффективность модифицирования металла выше, чем при подаче порошковой проволоки с (0,003 – 0,007 %) в кристаллизатор.

Сравнение результатов механических испытаний образцов литой стали (таблица 2) показало улучшение прочностных и пластических характеристик модифицированных непрерывнолитых заготовок по всем показателям.

При введении порошковой проволоки с НПИ в кристаллизатор изменение прочностных и пластических характеристик модифицированных непрерывнолитых заготовок было ниже полученных результатов при введении ленты в промежуточный ковш.

Таблица 2 – Сравнительные результаты механических испытаний

Слитки	НПИ	Концентрация основного вещества НПИ в стали, %	Изменение удельной плотности	
			т/м ³	%
Опытные	TiCN-Fe	0,038	+ 0,064	+ 0,82
		0,026	+ 0,082	+ 1,05
		0,043	+ 0,048	+ 0,62
	Среднее TiCN-Fe	0,036	+ 0,065	+ 0,84
	TiN-Cr	0,033	+ 0,065	+ 0,84
		0,015	+ 0,073	+ 0,94
		0,047	+ 0,051	+ 0,66
	Среднее TiN-Cr	0,032	+ 0,063	+ 0,81
Среднее по ОПЫТНЫМ	0,034	+ 0,064	+ 0,82	
Сравнительные	-	-	-	-

Таким образом, модифицирование металла в кристаллизаторе и промежуточном ковше МНЛЗ нанопорошковыми материалами приводит к объемно-последовательной кристаллизации расплава, при этом меняется морфология дендритного зерна – вместо столбчатой формируется равноосная кристаллическая структура, вследствие чего сокращается дендритная зона слитка, повышается плотность, снижается химическая неоднородность, улучшаются механические свойства заготовки.

Введение порошковой ленты в приемную ванну промежуточного ковша МНЛЗ позволяет варьировать концентрацию НПИ в стали в более широких пределах, что обеспечивает получение расчетных и определение оптимальных ее значений, позволяет обосновать рациональную технологию использования нанопорошковых материалов в промышленных масштабах для повышения качества металлопродукции.

Библиографический список

1. Гаврилин И.В. Плавление и кристаллизация металлов и сплавов / И.В. Гаврилин. – Владимир: Изд-во Владимирского государственного университета, 2000. – 260 с.
2. Tiler W.A., Takahashi T.R. //Acta metal. 1969. V. 17. № 4. P. 114 – 121.
3. Плазмохимический синтез ультрадисперсных порошков и их применение для модифицирования металлов и сплавов / В.П. Сабуров, А.Н. Черепанов, М.Ф. Жуков и др. – Новосибирск: Наука, 1996. – 312 с.
4. Комшуков В.П., Черепанов А.Н., Протопопов Е.В. и др. // Известия вузов. Черная металлургия. – 2008. – № 8. – С. 10 – 11.
5. Комшуков В.П., Черепанов А.Н., Протопопов Е.В. и др. // Известия вузов. Черная металлургия. – 2008. – № 10. – С. 21 – 24.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА РЕЛЬСОВ

**Мохов Г.В., Мухатдинов Н.Х., Александров И.В.,
Козырев Н.А., Корнева Л.В.**

***ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат»
г. Новокузнецк***

Безопасность движения поездов, сохранность людей и грузов в значительной степени зависят от исправного содержания, качества, стойкости железнодорожного полотна, главным элементом которого являются рельсы. В настоящее время проблема повышения работоспособности рельсов, несмотря на достигнутые положительные результаты в обеспечении качества рельсовой стали, является как никогда актуальной. В современных условиях эксплуатации железных дорог при движении тяжелого транспорта нагрузки от оси могут достигать 35 т, а скорости передвижения скоростных поездов до 250 км/ч.

В настоящее время в основном определены научно-технические основы решения проблем, связанных с повышением эксплуатационной стойкости рельсов. Наряду с научными изысканиями проведены технические мероприятия по совершенствованию технологии отечественного рельсового производства. Тем самым были обнаружены новые пути и возможности повышения эксплуатационной надежности рельсов.

Эксплуатационная стойкость железнодорожных рельсов, как известно, во многом определяется структурой и механическими свойствами рельсовой стали. В связи с этим возрастает роль исследований в области физики металлов и металловедения в создании новых, более совершенных и прогрессивных сталей, способных обеспечить длительную прочность рельсов в столь сложных условиях эксплуатации.

На основе многочисленных теоретических и экспериментальных исследований установлено, что сопротивление рельсов износу и повреждаемости контактно-усталостными дефектами значительно возрастает с увеличением дисперсности структуры.

В этом направлении выполнен большой объем научно-исследовательских работ и промышленных экспериментов, а именно: разработана и запатентована технология производства рельсов повышенной износостойкости из стали с увеличенным содержанием углерода до 0,90 % и микролегирующими добавками ванадия (0,07 – 0,08 %) и азота (0,012 – 0,017 %) [1]. Эксплуатационные наблюдения, проведенные на перевальном участке Иркутск – Слюдянка Восточно-Сибирской железной дороги, отличающейся большим количеством кривых малого радиуса, показали высокую износостойкость рельсов из стали заэвтектоидного состава. Удельный их боковой износ со-

ставил 0,076 – 0,072 мм на 1 млн. т брутто. В тоже время для стандартных рельсов этот показатель значительно выше и составляет 0,124 мм на 1 млн. т брутто. Дальнейшее повышение содержания углерода лимитировано образованием структурно-свободного цементита. Как известно, образование по границам зерен перлитных колоний сетки структурно-свободного цементита приводит к резкому снижению ударной вязкости стали и динамической прочности рельсов.

Другим достижением является создание рельсов низкотемпературной надежности. Разработанная и запатентованная технология производства рельсов низкотемпературной надежности [2] позволила обеспечить безопасность движения при температурах минус 40 °С и ниже. По данным служб пути на дорогах, расположенных в районах с суровыми климатическими условиями, зимой одиночные изъятия по дефектам в 2,0 – 2,5 раза больше, чем летом. Снижение температуры особенно заметно сказывается на развитии усталостных трещин в головке рельсов бесстыкового пути. Также установлено, что при низких температурах наблюдается снижение пластичности и вязкости, в результате этого возможно хрупкое разрушение рельса. Очевидно, что приоритетным направлением является повышение низкотемпературной надежности рельсового металла. Этот параметр достигают посредством целенаправленного формирования в металле карбонитридов ванадия, для образования которых в стали должно содержаться достаточное количество ванадия и азота. Установлено, что гарантированное получение необходимой ударной вязкости рельсов низкотемпературной надежности обеспечивается следующим содержанием азота 0,010 – 0,020 % и ванадия 0,07 – 0,08 %.

Благодаря оптимизации химического состава углеродистой рельсовой электростали и применению технологии карбонитридного упрочнения достигнуто существенное повышение эксплуатационной стойкости до уровня мировых стандартов, обеспечившее наработку рельсов более 1 млрд. т брутто.

За последние годы в развитии железнодорожного транспорта России наметилось еще одно новое направление – создание высокоскоростных магистралей. Интерес к развитию высокоскоростных линий, получивших такое широкое распространение за рубежом, обусловлен их высоким уровнем надежности, безопасности и комфорта, а также хорошими экологическими и экономическими показателями. Необходимость создания рельсов новой категории стало очередным стимулом поиска новых перспективных технических решений, а также совершенствования существующих технологий.

В частности, разработан и запатентован химический состав и технология производства рельсов из низколегированной стали Э76ХГФ [3]. Эти рельсы в горячекатаном состоянии показали удовлетворительное качество по неметаллическим включениям, макроструктуре, копровой прочности, механическим характеристикам, обезуглероженному слою и остаточным напряжениям. Повышенные требования к прямолинейности рельсов потребовало проведения ряда разработок, направленных на повышение геометрического качества рельсов. Технические мероприятия по улучшению режима правки,

применение гибочных машин и подстуживания подошвы по всей длине рельсов перед закалкой, а также оптимизация режимов закалки и отпуска, позволили наладить производство рельсов для скоростного совмещенного движения.

Как показывает практика при эксплуатации на рельсах часто возникают термомеханические повреждения, вызванные структурными превращениями в стали. Вследствие проскальзывания колеса на поверхности катания головки рельса в зоне контакта протекают мгновенные структурные и фазовые превращения, приводящие к образованию вторичной структуры (нетравящейся белой зоны), отличающейся высокой твердостью и хрупкостью.

Моделирование процесса ударных нагрузок на образцах из стали с разным содержанием углерода и легирующих элементов показало, что образование вторичных структур очень сильно зависит от содержания углерода и легирующих элементов.

Установлено, что сопротивление рельсов образованию дефектов термомеханического происхождения повышается с уменьшением содержания углерода в стали. В связи с этим еще одним перспективным направлением в развитие рельсового производства является создание рельсов нового поколения – рельсов из бейнитной стали.

Бейнитная структура с высоким комплексом механических свойств достигается рациональными концентрационными пределами легирующих элементов.

Проведенные лабораторные и промышленные эксперименты позволили разработать и запатентовать химические составы бейнитных рельсовых сталей [4, 5]. Из исследуемых плавок наибольший интерес представляла сталь следующего состава, масс. %: 0,32 C, 1,48 Mn, 1,21 Si, 1,00 Cr, 0,2 – 0,3 Mo, 0,13 V, 0,012 N. Опытные рельсы показали повышенный комплекс свойств и удовлетворительную технологичность, благодаря экономному легированию характеризуются пониженной себестоимостью и позволяют отказаться от экологически вредной технологии объемной закалки в масле. Наряду с достижением высоких показателей качества рельсов, обеспечение энерго- и ресурсосбережения при их производстве является актуальной задачей, имеющей сегодня большое практическое значение.

В силу того, что развитие рельсового производства в направлении использования новых марок сталей не требует существенных капитальных вложений и реконструкции производства, оно на сегодня является приоритетным. Параллельно проводятся исследования по внедрению в промышленное производство прогрессивной технологии по дифференцированной закалке рельсов. По мере внедрения новых марок сталей и освоения прогрессивной технологии дифференцированной закалки железные дороги смогут получать от отечественных производителей рельсы, обладающие большей надежностью и ресурсом.

Библиографический список

1. Патент РФ 2259416, МПК. С 22 С 38/24, 38/28, 38/46, 38/50. Рельсовая сталь / Ворожищев В.И., Павлов В.В., Девяткин Ю.Д и др. // № 2003124407/02; Заявл. 04.08.2003; опубл. 27.08.2005. – Бюл. № 24. – С. 485.
2. Патент РФ 2254380, МПК С 21С 7/00, 5/52. Способ получения рельсовой стали / Павлов В.В., Козырев Н.А., Годик Л.А. и др. // № 2003136328/02; заявл. 15.12.03; опубл. 20.06.05, Бюл. №17 (II ч.). – 7 с.
3. Патент РФ 2291221, МПК. С 22 С 38/46. Рельсовая сталь / Павлов В.В. Девяткин Ю.Д., Козырев Н.А.и др. // № 2005113675/02; Заявл. 04.05.2005. опубл. 10.01.2007. – Бюл. № 1. – С. 310 – 311.
4. Патент РФ 2259418, МПК. С 22 С 38/48. Рельсовая сталь / Ворожищев В.И., Павлов В.В., Девяткин Ю.Д.и др.// № 2003124408/02; Заявл. 04.08.2003; опубл. 27.08.2005. – Бюл. № 24. – С. 485.
5. Патент РФ 2241779, МПК С 22 С 38/54, 38/58. Рельсовая сталь / Ворожищев В.И., Павлов В.В., Шур Е.А. и др. // № 2003124404/02; заявл. 04.08.03; опубл. 10.12.04, Бюл. № 34 (IV ч.). – 7 с.: ил.

УДК 669.7

ПУТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ЗАВОДОВ РОССИИ

ГАЛЕВСКИЙ Г.В., МИНЦИС М.Я.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Производство алюминия основано на электролизе оксида (Al_2O_3) в расплаве криолита ($3NaF \cdot AlF_3$) в электролизерах, аноды которых имеют различные конструкции. В начале промышленного производства в качестве анодов использовались предварительно обожженные углеграфитовые блоки (ОА), которые затем – по экономическим соображениям – были заменены на самообжигающиеся аноды (СОА). Эти аноды, предложенные инженером К. Содербергом, изготавливают из анодной массы, которая представляет смесь электродных коксов и каменноугольного пека. Переход на аноды Содерберга (после 1926 г.) резко сократил себестоимость алюминия и снизил инвестиции в строительство алюминиевых предприятий. Поэтому аноды Содерберга стали доминирующей конструкцией на всех заводах мира. Однако, несмотря на экономическую привлекательность, анод Содерберга обладает двумя существенными недостатками: 1) сдерживает дальнейший рост производительности электролизеров; 2) с поверхности анода выделяются полиароматические углеводороды (ПАУ), которые относятся к 1-му классу опасности. Поэтому во второй половине XX в, началось широкое внедрение электроли-

зеров с предварительно обожженными анодами (ОА), которые не выделяют смолистых соединений, а их производительность уже более чем вдвое превышает возможности электролизеров с анодами Содерберга. Этому способствовало ужесточение экологических требований в развитых странах. Вследствие этого в мировой практике электролизеры ОА стали доминирующей конструкцией – на них производится более 85 % первичного алюминия. Однако электролизеры с анодом Содерберга производят металл, себестоимость которого на 40-100 \$/т ниже, чем на электролизерах с ОА. Поэтому они продолжают работать на заводах Китая, Бразилии, Индии и России.

Развитие отечественной алюминиевой промышленности проходило в несколько этапов. В 1931 г. был пущен Волховский алюминиевый завод (ВАЗ). В довоенное время введены в эксплуатацию Днепровский (ДАЗ) и Уральский (УАЗ) заводы. В годы второй мировой войны введена в эксплуатацию первая очередь Новокузнецкого (НКАЗ), и начат пуск Богословского (БАЗ) завода. После войны быстрыми темпами введены в эксплуатацию алюминиевые заводы в г. Канакер (КанАЗ), г. Кандалакша (КАЗ), г. Надвойцы (НАЗ) и в г. Сумгаит (СумАЗ). Все эти заводы (за исключением Волховского) оснащены электролизерами с анодом Содерберга и боковым подводом тока (БТ) к нему. Начиная с 1959 г. вновь вводимые заводы - Волгоградский (ВГАЗ), Иркутский (ИрАЗ), Красноярский (КРАЗ), Братский (БрАЗ) и 2-я очередь Новокузнецкого (НКАЗ-II) завода, оснащались электролизерами с анодом Содерберга с верхним токоподводом (ВТ). В 1985 г. начато строительство Саянского (САЗ) завода, а 20 лет спустя построены Хакасский (ХАЗ) и 5-ая серия ИрАЗа, оснащенные мощными электролизерами ОА на силу тока более 300 кА. Характеристика электролизеров, установленных на российских заводах (по состоянию на 01.01. 2008 г.) приведена в таблице 1.

Мировое производство [1] алюминия характеризуется данными, приведенными в таблице 2. Из данных этих таблиц видно, что в России доминируют электролизеры с анодом Содерберга, которые составляют почти 80 % всего действующего парка и производят до 70 % алюминия.

Столь неудовлетворительная структура отечественного парка электролизеров, по нашему мнению, является следствием следующих факторов:

– замена действующих электролизеров с анодом Содерберга на современные агрегаты требует значительных затрат. Так, по данным компании VAW (Германия), замена электролизеров второй очереди НКАЗа потребует около 750 млн. \$, или около 3750 \$/т годовой производительности, а для реконструкции всех электролизеров с анодом Содерберга, установленных на заводах России, необходимо более 11 млрд. \$;

– санитарные нормы на выброс вредных веществ в атмосферу в России в ряде случаев даже более жесткие, чем в некоторых европейских странах. К сожалению, непосредственное измерение количества ингредиентов, выбрасываемых в атмосферу, невозможно. Методики же определения выбросов крайне несовершенны, что занижает фактические данные [2, 3]. Поэтому плата за выбросы вредных веществ в атмосферу столь незначительна, что не стимулирует замену устаревших конструкций электролизеров.

Таблица 1 – Характеристика электролизеров на заводах России

Заводы	Тип, количество (шт.) и сила тока (кА) электролизеров						Годовая. производ., ≈ тыс. т.
	БТ		ВТ		ОА		
	колич.	ток	колич.	ток	колич.	ток	
ВАЗ	–	–	–	–	160	50	25
УАЗ	272	72	–	–	162	162	130
НКАЗ	76	88	351	140	–	–	300
	328	104	180	170	–	–	–
НАЗ	260	76	–	–	98	90	80
КАЗ	330	85	–	–	–	–	75
БАЗ	360	76	–	–	–	–	180
	180	95	–	–	–	–	–
ВГАЗ	–	–	246	138	–	–	160
	–	–	176	170	–	–	–
ИркАЗ	–	–	178	138	200	320	470
	–	–	368	168	–	–	–
КРАЗ	–	–	1858	170	278	140-180	1000
БРАЗ	–	–	2160	165	–	–	1000
	–	–	142	105-125	–	–	–
САЗ	–	–	–	–	344	200	540
	–	–	–	–	338	300	–
ХАЗ	–	–	–	–	320	320	300
Итого	1806		5659		1900		4260

Таблица 2 – Количество произведенного алюминия по регионам, тыс. т

Континенты	ОА	Анод Содерберга	Всего
Европа	3468	1020	4488
Америка	7118	2128	9246
Азия и Африка	2794	1024	3818
Австралия	2163	0	2163
Россия	420	2638	3058
Итого	15963	6810	22773

При современном состоянии технологии производства алюминия и улавливания выделяющихся вредностей, с экологической точки зрения альтернативы замены электролизеров с анодом Содерберга на электролизеры с обожженными анодами не существует, но для реализации этого направления потребуются значительное время. Поэтому в ближайшей перспективе (не менее 10 лет) электролизеры с анодом Содерберга на заводах России будут эксплуатироваться, и в этот период целесообразно провести их модернизацию с целью снижения вредных выбросов, повышения производительности, снижения себестоимости и трудоемкости, но при этом затраты на реконст-

рукцию должны быть минимальными

Многочисленные предложения, направленные на радикальное снижение вредных выбросов (прежде всего ПАУ) в атмосферу, потребуют инвестиций, сопоставимых со строительством новых мощностей. Большие надежды, возлагаемые в РУСАЛе, на применение коллоидной анодной массы, по нашему мнению, преувеличены, а предложения Российской инжиниринговой компании (РИК) [4] нельзя признать приемлемыми.

Наибольший практический интерес представляет переходный период, в течение которого необходимо принять такие технические и организационные решения, внедрение которых могут носить временный характер, не потребуют больших инвестиций, но улучшат технико-экономические и экологические показатели серий, будут способствовать снижению затрат в будущем при внедрении электролизеров ОА. К таким мерам могут быть отнесены: «сухая» газоочистка отходящих газов; автоматизированная централизованная система раздачи глинозема по электролизерам; автоматизированная система питания электролита глиноземом и др.

При проведении капитального ремонта электролизеров имеется возможность реализовать ряд мер, изложенных в работе [3] по совершенствованию конструкций электролизеров с анодами Содерберга, которые не требуют дополнительных вложений.

Электролизеры с анодом Содерберга с боковым подводом тока (БТ), введенные в эксплуатацию более 50 лет назад, в настоящее время работают на силе тока до 100 кА. Из-за невысокой степени механизации условия труда технологического персонала, особенно при обслуживании анодного узла, крайне дискомфортны, а удельные трудозатраты технологического персонала в 4 – 5 раз больше, чем на электролизерах с более высокой силой тока. Поэтому коренная реконструкция серий, оборудованных электролизерами с анодом Содерберга БТ, технически, экономически и экологически нецелесообразна, но сроки и условия ликвидации этих мощностей должны быть согласованы с регионами, так как эти заводы, в ряде случаев, являются градообразующими (БАЗ, НАЗ, КАЗ).

Электролизеры с анодом Содерберга с верхним подводом тока (ВТ) являются доминирующей конструкцией электролизеров; из 66 действующих корпусов, оснащенных электролизерами этого типа, лишь в 10 корпусах размещены электролизеры типа С-2 и С-3, с проектной силой тока 120 кА. В остальных корпусах установлены электролизеры типов С-8Б и С-8БМ, спроектированные на силу тока 155 кА. В настоящее время все электролизеры интенсифицированы, и сила тока на них составляет 140 – 145 и 165 – 175 кА соответственно.

Интенсификация электролизеров по току вызвала рост температуры поверхности анодов не менее чем на 10 °С, что по данным Сорлье [5], увеличило эмиссию ПАУ из анодов примерно в 7 раз. Однако радикальных мер по снижению этих выбросов принято не было, так как в соответствии с действующей методикой [6] выбросы ПАУ с поверхности анода не учитываются.

В последние годы на заводах внедрялись системы автоматического питания электролита глиноземом (АПГ); на КРАЗе все корпуса, оснащенные электролизерами с анодом Содерберга, оборудованы этими системами. Внедрение систем АПГ, особенно в сочетании с автоматизированной раздачей глинозема по электролизерам, позволит резко увеличить производительность труда, которая в 3 – 5 раз ниже, чем на передовых зарубежных предприятиях.

Внедрение систем АПГ позволит резко уменьшить объем электролита в шахте электролизера. Проведенные исследования [3] показали, что объем электролита может быть уменьшен в 1,3 – 1,5 раза, что позволит при очередном капитальном ремонте электролизера уменьшить габариты катодного устройства, сократив потребность в материалах на 20 – 25 %, и адекватно снизить затраты на капитальный ремонт. Учитывая, что стоимость капитального ремонта электролизера составляет около 3 млн. руб., а в течение года ремонтируется более 1000 электролизеров, общая экономия на проведение капитальных ремонтов составит не менее чем 3 млрд. руб., которые можно будет израсходовать на монтаж АПГ.

Важнейшей задачей при модернизации электролизеров с анодом Содерберга является снижение выхода ПАУ с поверхности анода. Проведенные исследования [3] показали, что выход смолистых соединений при температуре поверхности анода 150 – 160 °С достигают 45 кг/т Al. Радикальное снижение выбросов ПАУ с поверхности анода РУСАЛ связывает с внедрением коллоидной анодной массы. Однако наличие в ней до 20 % каменноугольного пека (вместо 27 – 30 % в «сухой» массе) может снизить выход ПАУ не более чем на 30 – 35 %, что не обеспечит достижения санитарной нормы по выбросам ПАУ. Поэтому внедрение коллоидной массы нельзя рассматривать как альтернативу внедрения электролизеров ОА, но полезно в переходном периоде.

Большой экологический эффект может быть получен при снижении температуры поверхности анода до 100 – 120 °С. В работе [3] показано, что этого можно достичь при испарительном охлаждении поверхности анода, для чего следовало бы форсировать проведение промышленных испытаний.

Из-за аварии на Саяно-Шушенской ГЭС во избежание резкого ограничения энергоснабжения сибирских алюминиевых заводов при экстремальных ситуациях, следовало бы широко внедрить опыт НКАЗа по модулированию тока в часы максимума нагрузок в энергосистеме, что снизило бы потребляемую мощность в часы «пик» не менее, чем на 500 – 700 МВт.

Библиографический список

1. Гринберг И.С. Электрометаллургия алюминия / И.С. Гринберг, Б.И. Зельберг, В.И. Чалых, А.Е. Черных. – Иркутск: ИркГТУ. 2009. – 403 с.
2. Галевский Г.В. Экология и утилизация отходов в производстве алюминия. 2-е изд./ Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис – М.: Флинта: Наука, 2005. – 268 с.

3. Галевский Г.В. Металлургия алюминия. Электролизеры с анодом Содерберга и их модернизация / Г.В. Галевский, М.Я. Минцис, Г.А. Сиразутдинов. – М.: Флинта: Наука, 2008. – 238 с.
4. Технологические и экономические аспекты модернизации электролизеров с анодом Содерберга: материалы междунар. конф. «Алюминий Сибири–2007». – Красноярск: [б. и.], 2007. – 29 с.
5. Сорлье М. ПАУ и выбросы паров пека с поверхности анода Содерберга / М. Сорлье // ТЭВ РУСАЛа. – 2005. – № 11. – С. 33-37.
6. Расчетная инструкция (методика) по определению состава и количества вредных (загрязняющих) веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух при электролитическом производстве алюминия. Утверждена Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 31.03.2005 № 182. – 72 с.

УДК 658

ПРОБЛЕМЫ КОРПОРАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ В ПЕРИОД КРИЗИСА

ЛЕВКИНА О.М.

*НОУ «Региональный центр подготовки персонала «Евраз-Сибирь»
г. Новокузнецк*

В докризисный период на предприятиях ЕвразХолдинга функционировала система обучения персонала, ориентированная на получение утвержденных компетенций для каждой должности. Организация обучения базировалась на принципах непрерывности, системности, опережающего профессионального и личностного развития. Ежегодно обеспечивалось обучение 80 % руководителей на обязательных курсах, в первую очередь по охране труда и промышленной безопасности. Значительное внимание уделялось не только расширению профессиональных компетенций, но и развитию управленческих знаний и умений, адаптации молодых специалистов, подготовке резерва руководителей, повышению компьютерной грамотности. По программам развития ежегодно обучалось до 20 % персонала.

Количество руководителей и специалистов, обученных в НОУ «Региональный центр подготовки персонала «Евраз-Сибирь» (РЦПП), приведено в таблице 1.

В последние 2 – 3 года зримо изменяются как производительные силы, так и производственные отношения. Быстро изменяющаяся конъюнктура производства, кризисные процессы, вывод на аутсорсинг предприятий различного профиля создали ряд проблем в корпоративном обучении. Потребовалась более оперативная, чем прежде, реакция РЦПП на более широкий спектр запросов и ожиданий потребителей образовательных услуг. Это отразилось на принципах, содержании и организации обучения персонала.

Таблица 1 – Количество руководителей и специалистов, обученных в НОУ «Региональный центр подготовки персонала «Евраз-Сибирь» (РЦПП)

Учебные программы и курсы	Количество обученных по годам, чел		
	2007	2008	9 мес. 2009
Охрана труда	1120	1456	821
Промышленная безопасность и курсы, под- контрольные Ростехнадзору	3442	2410	1328
Повышение квалификации руководителей и специалистов по металлургическим специ- альностям	622	433	159
Экология и отходы производства	455	243	117
Компьютерная грамотность	198	106	4
Развитие управленческих компетенций	518	861	29
Дистанционное обучение	1300	1250	1200
Всего:	7655	6759	4656

По-прежнему востребованным остается обучение по программам, предусмотренным Российским Законодательством. Сохраняется обучение по системе менеджмента качества, значительно сократилось обучение по программам повышения квалификации руководителей и специалистов. Сокращено развивающее обучение, обучение управленческого резерва и адаптация молодых специалистов.

Потребовалось оперативное изменение содержания многих освоенных учебных программ, а также оперативная разработка и освоение новых учебных курсов из-за реинжиниринга бизнес-процессов и управленческих структур, введения новых нормативных документов.

В кризисный период возросла значимость коммуникаций и взаимоотношений на производстве, роль стимулирования и мотивации персонала, поэтому в обязательные программы обучения бригадиров, мастеров, руководителей целесообразно добавить блоки делового общения, конфликтологии, управления персоналом, психологии безопасности труда.

В соответствии с требованиями Природоохранного законодательства специалистами РЦПП разработаны и освоены новые учебные курсы: «Интегрированная система менеджмента качества, охраны окружающей среды, профессионального здоровья и безопасности», «Система менеджмента профессионального здоровья и безопасности» и «Производственный контроль соблюдения требований санитарного и природоохранного законодательства».

РЦПП развивает новации во взаимодействиях с организациями – потребителями образовательных услуг. Примером синергии производства и обучения является разработка и освоение нового курса «Энергосбережение»

для организаций ЕвразХолдинга. Преподавателями методистами РЦПП совместно со специалистами при поддержке руководства ЗСМК буквально за неделю удалось подготовить данный курс и организовать обучение персонала эффективному энергосбережению.

РЦПП активно разрабатывает многие другие учебные курсы, привлекая лучших преподавателей и специалистов сторонних организаций. Имея в активе в момент создания 517 направлений лицензии (2007 г.) к концу текущего года количество лицензированных программ НВGG превысит тысячу.

Сложнее, чем раньше, стали решаться вопросы освобождения персонала от работы на очное обучение. Поэтому РЦПП расширяет возможности дистанционного обучения. Дистанционное обучение в контексте нынешней непростой экономической ситуации выглядит как хорошее решение проблемы повышения квалификации кадров с привлечением минимальных средств. Доля работников Евраз-Холдинга, обученных дистанционной формой, ежегодно возрастает.

Большая проблема – снижение стоимости обучения. Системно прорабатываются разные подходы к решению этой проблемы. Освоен самый простой – увеличение численности слушателей в группах теоретического обучения с сохранением и даже повышением качества за счет более широкого использования технических средств обучения.

РЦПП расширяет сотрудничество с организациями, нуждающимися в обучении персонала по всем лицензированным курсам. С учетом опыта, полученного при обучении персонала предприятий, управляемых ЕвразХолдинг и внедривших системы менеджмента качества, предлагаем организациям региона весь комплекс образовательных услуг по подготовке персонала и консалтингу в области менеджмента качества, охраны окружающей среды, профессионального здоровья и безопасности. Возможна совместная подготовка актуальных учебных программ и организация обучения, в том числе выездного.

РЦПП расширяет взаимодействие с Департаментом труда Кемеровской области, с Центром занятости населения г. Новокузнецка, с организациями НПО, СПО, ВПО. Проводится обучение безработных граждан на востребованные специальности с последующим трудоустройством. Совместно с Департаментом труда Кемеровской области, центром занятости г. Новокузнецка, управляющей компанией «Евраз-Холдинг» РЦПП стоял у истоков развития опережающего обучения. Это важная Государственная задача. Проблема в том, что люди не идут на рабочие профессии. Если тех юристов и экономистов, которых сейчас в избытке обучить на сварщиков, слесарей, электриков, то через месяц они будут трудоустроены. В России обозначилась тенденция неприятия рабочей профессии со стороны молодежи.

Данная тенденция проявилась на предприятиях «Евраз-Холдинг». Заглядывая на несколько лет в будущее, можно предвидеть трудности с кадровым обеспечением предприятий. Уже сегодня не набираются группы в базовые образовательные учреждения по специальностям электромонтер, маши-

нист крана, по металлургическим профессиям. Через несколько лет предприятия почувствуют кадровый голод. Поэтому РЦПП расширяет рамки социального партнерства с образовательными учреждениями. Начиная со второго курса учащиеся некоторых специальностей проходят практику в учебном цехе РЦПП, имеющем современное производственное оборудование. За период практики учащиеся получают дополнительные смежные профессии. По окончании практики оцениваются профессионально-важные качества каждого выпускника, определяется рейтинг успешности, и рассматриваются условия трудоустройства на предприятия «Евраз-Холдинг».

Расширяются рамки взаимодействия с выпускниками профессиональных образовательных учреждений. Предприятия разработали схему стажировки выпускников базовых учебных заведений, ввели штатные места, установили фонд заработной платы, утвердили средства на обучение. Однако стажировки пока мало востребованы: на ЗСМК из 200 явились 103 человека, на НКМК – из 56 только 31 человек. Основные мотивы отказа: малый заработок и временный характер работы. Качество подготовки выпускников базовых образовательных учреждений довольно высокое, они востребованы на рынке труда г. Новокузнецка. Проблема проявилась, разрабатываются пути ее решения.

Из всего сказанного следует, что в корпоративном обучении персонала возникло много новых проблем, которые решаются РЦПП с целью сохранения кадрового потенциала предприятий холдинга. Важно вовремя определить новые тенденции и принять необходимые меры к использованию положительных и блокированию отрицательных явлений.

УДК 62-83-52:669

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Островлянчик В.Ю., Дужий А.В., Кубарев В.А., Модзелевский Д.Е.

*Научно-исследовательский институт автоматики, информатики
и электромеханики ГОУ ВПО «СибГИУ»
г. Новокузнецк*

В настоящее время остро созрела необходимость перехода на более высокий уровень технического оснащения средств защиты и управления электроприводов горно-металлургического комплекса, так как технический уровень используемых систем автоматизации, в настоящее время, является одним из самых низких, среди стран Европы.

Для автоматизации электроприводов до сих пор применяются релейно-контакторные схемы и системы на блоках серии «Логика», что нельзя признать удовлетворительным. В качестве систем управления электроприво-

дами используются аналоговые электроприводы типа КТЭ и КТЭУ, первого и второго поколений, а в некоторых случаях и системы на базе УБСР-А конца шестидесятых, начала семидесятых годов выпуска. Не стоит и говорить о том, что подобные установки крайне нуждаются в коренной модернизации.

При этом следует отметить, что современный электропривод является определяющим в реализации технологического процесса любого электромеханического комплекса, выход, из строя которого приводит к нарушению рабочего процесса и может являться причиной несчастных случаев.

Учитывая актуальность проблемы в НИИ АИЭМ СибГИУ активно ведутся разработки новых систем управления, систем автоматики и защит для различных приводов горно-металлургического комплекса, целью которых является повышение уровня безопасности автоматизации и производительности электрических приводов, определяющих технологический процесс.

В связи с этим в НИИ АИЭМ СибГИУ совместно с кафедрой АЭП и ПЭ предложена концепция построения современных систем управления электроприводами*. На основании указанной концепции разработана Автоматизированная система управления и мониторинга электроприводами горно-металлургического производства, в виде комплекса устройств, позволяющего существенно улучшить управляемость, наблюдаемость, а также снизить аварийность и повысить производительность, за счет использования резервов, которые были не доступны при существующих системах управления. Реализация подобных систем управления предполагает включение следующих основных модулей:

1. *Цифровое устройство автоматического управления электроприводом (ЦУАЭ)* для управления полупроводниковым электроприводом постоянного или переменного тока, регулирования его координат, предупреждения выхода из строя основных функциональных узлов и электропривода в целом, а также предусматривает возможность связи с системами электроприводов других производственных механизмов.

2. *Программируемый аппарат задания, контроля движения и технологических защит (ПАЗК)* для управления технологическим процессом. ПАЗК выполнен на базе российского промышленного контроллера Fastwel, и может быть использован, для управления технологическим процессом «Подъём» (шахтные подъёмные установки), процессом экскавации полезного ископаемого, управления поточно-транспортными системами и прокатными станами. Предлагаемый принцип построения не только позволяет устранить недостатки используемых в настоящее время подобных систем управления, но и выполняет дополнительные функции, которые на используемых в данное время аппаратах не реализуется.

3. *Регистрирующе-диагностическое устройство (РДУ)*, основной задачей которого является централизованный контроль над состоянием техно-

* Островляничик В.Ю. Автоматизированный электропривод постоянного тока горно-металлургического производства: Учеб. пос. – Новокузнецк: СибГИУ, 2004. – 383 с., ил.

гического процесса, измерение и регистрация технологических параметров, обнаружение и регистрация их отклонений от установленных пределов, контроль срабатывания блокировок и защит. Кроме того, данное устройство на основе контроля параметров технологического процесса позволяет синтезировать параметры тех процесса и использовать их для обнаружения и контроля отклонения от нормы в технологическом процессе. Имеется также возможность передачи по сети информации в виде протокола и рапорта о состоянии данной установки.

РДУ является основным модулем локальной автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП).

4. Система визуализации и комплексного мониторинга состояния электропривода обеспечивает оператора всеми необходимыми средствами для эффективного управления технологическим процессом.

На рисунке 1 представлена данная система на примере подъемной установки ЦР6×3,5/0,75 Абаканского филиала ОАО «Евразруда».

Впервые данная система изготовлена в модификации для электропривода подъемной установки, и первые опытные образцы были внедрены в 1996 году на Абаканском руднике (в настоящее время – Абаканский филиал ОАО «Евразруда»).

В настоящее время экстенсивные способы увеличения производительности электроприводов, например, такие как увеличение массы полезного груза, или значительное увеличение скорости, осуществить не представляется возможным, без применения специальных методов уменьшения динамических перегрузок в кинематических узлах.

Таким образом, автоматическое формирование и реализация оптимальной диаграммы движения рабочего органа остается единственной возможностью повышения производительности, и увеличения срока службы машин.

В НИИ АИЭМ СибГИУ разработан Программируемый аппарат задания, контроля движения и технологических защит (ПАЗК), реализующий движение рабочего органа в функции пути и скорости, которое позволяет эффективно использовать любой электропривод в части не только повышения его производительности, но и повысить энергосбережение.

В 2004 году была проведена экспертиза промышленной безопасности разработанных в НИИ АИЭМ СибГИУ Программируемого аппарата защит и контроля хода подъемной установки (ПАЗК) и Регистрирующе-диагностического устройства (РДУ), разрешено их производство и выданы сертификаты соответствия на эти устройства. Данные сертификаты явились основанием для получения разрешений Ростехнадзора на производство и применение устройств на опасных производственных объектах России.

В 2009 году устройства РДУ и ПАЗК были повторно сертифицированы, им были продлены разрешения на их эксплуатацию на опасных производственных объектах, а, кроме того, сертифицировано и получило разреше-

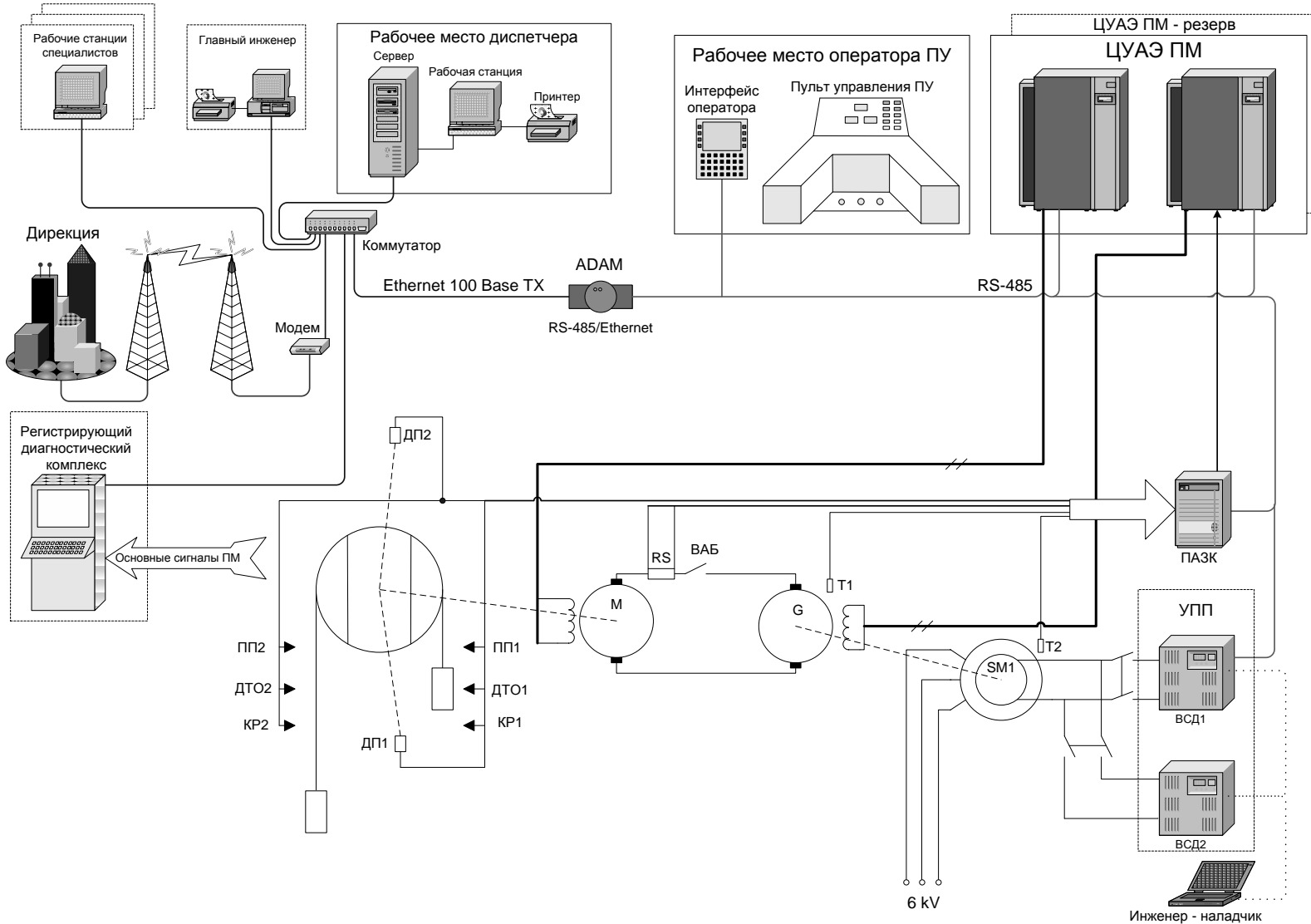


Рисунок 1 – Автоматизированная система управления и мониторинга электропривода

ние на применение на опасных производственных объектах Цифровое устройство автоматического управления электроприводом (ЦУАЭ), которое включает в себя систему регулирования и систему импульсно фазового управления электроприводом.

Вместе с тем, огромное отрицательное влияние на развитие оказывает «недопонимание» некоторыми собственниками необходимости скорейшей модернизации электроприводов. Эти руководители как правило «забывают» об основной единице любого производства и не находят средств для решения названных проблем. Однако убытки, которые терпят предприятия в случае аварий, зачастую намного превышают затраты на своевременную модернизацию электротехнического оборудования.

УДК 661.665

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ НАНОКАРБИДА КРЕМНИЯ

Руднева В.В., Галевский Г.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Введение

Производство карбида кремния является одним из важнейших в структуре современной металлургии. Сочетание исключительных теплофизических, механических и физико-химических свойств карбида кремния делает его уникальным материалом для многих отраслей техники и предопределяет такие основные направления применения, как материалы на связках, керамика, композиционные материалы и покрытия. Мировое производство карбида кремния составляет около 800 тыс. т в год. Крупнейшими сферами использования карбида кремния являются металлургия (около 45 % мирового спроса), производство абразивов (до 30 %) и огнеупоров (до 25 %). Пока маломасштабными по фактическому объему (менее 1 %), но интенсивно развивающимися и имеющими высокую стоимостную оценку, являются рынки сбыта карбидокремниевых порошковых материалов: микронизированного порошка с размером частиц менее 1 мкм (т.н. «микронизированный карбид») для керамики и нанопорошка с размером частиц менее 100 нм (т.н. «нанокарбид») для высококачественных конструкционной и ударопрочной керамики и гальваники. Введение в обращение карбида кремния в виде нанокарбида открывает новые направления его применения, в том числе для поверхностного и объемного модифицирования металлических сплавов и полимеров, создания специальных красочных составов и др. Производителями микронизированного карбида являются предприятия мировых лидеров – компаний «Saint-Gobian» и «Exolon-ESK». Среди производителей нанокарбида – научно-производственные фирмы «Токуо Текко Со» (Япония), «Hefei Kaier

Nanotechnology & Development Ltd. Co» (Китай), «NEOMAT Co» (Латвия).

Сопоставление различных технологий получения карбидокремниевых порошков свидетельствует о том, что для достижения наноуровня в первую очередь востребованы технологии, основанные на применении высококонцентрированных энергетических потоков для газификации сырья и формирования целевого продукта при конденсации из газовой фазы. Среди подобных технологий плазменный способ, обеспечивая результаты, качественно сопоставимые с достигаемыми, например, при лазерном и электронно-лучевом воздействиях, отличается сравнительной простотой реализации и является из данной группы методов наиболее изученным и конкурентоспособным. Аппаратурное оформление плазменных процессов многообразно, однако по потребляемой мощности и, следовательно, по производительности при переработке дисперсного сырья одно из ведущих мест занимают многоструйные прямоточные реакторы, вышедшие на промышленный уровень.

Целью настоящей работы явилось развитие и совершенствование технологии производства нанокарбида кремния восстановлением и карбидизацией микрокремнезема пропаном в условиях плазменного потока, генерируемого трехструйным прямоточным реактором, для чего решались следующие задачи:

- исследование и совершенствование плазменного реактора;
- термодинамический и кинетический анализы процессов синтеза и модифицирования карбида кремния и карбидсодержащих композиций;
- разработка инновационной технологии производства нанокарбида кремния, включающей плазменный синтез с использованием нового кремний- и углеродсодержащего сырья и плазменное модифицирование (обработку в плазменном потоке) карбидсодержащих микропорошков;
- оценка эффективности применения нанокарбида кремния в технологии композиционных электроосаждаемых покрытий (КЭП) и конструкционной керамики.

При проведении теоретических и экспериментальных исследований были получены следующие результаты [1 – 4].

Инновационная технология производства карбида кремния

Экспериментальные исследования процессов плазменного синтеза карбида кремния восстановлением микрокремнезема SiC (1), карбидизацией кремния SiC (2), восстановлением шунгита SiC (3) и плазменного модифицирования карбида SiC (4), нитрида кремния и карбидонитридной композиции позволили получить следующие математические модели, описывающие зависимость содержания карбида кремния в продуктах синтеза и модифицирования (в % масс.) от основных параметров:

$$[\text{SiC (1)}] = 67,84 + 0,0075 \cdot T_0 - 0,0127 \cdot T_3 - 0,248 \cdot \{\text{CH}_4\} + 0,00012 \cdot T_3 \cdot \{\text{CH}_4\};$$

$$[\text{SiC (2)}] = 86,50 + 0,00273 \cdot T_0 - 0,0064 \cdot T_3 - 0,144 \cdot \{\text{CH}_4\} + 0,00007 \cdot T_3 \cdot \{\text{CH}_4\};$$

$$[\text{SiC (3)}] = 55,70 + 0,0090 \cdot T_0 - 0,0080 \cdot T_3 - 0,254 \cdot \{\text{CH}_4\} + 0,102 \cdot \{\text{H}_2\};$$

$$[\text{SiC (4)}] = 82,28 + 0,0035 \cdot T_0 - 0,0049 \cdot T_3 - 0,283 \cdot \{\text{CH}_4\} + 0,412 \cdot \{\text{H}_2\},$$

(в уравнениях T_0 – начальная температура плазменного потока (5200 – 5400 K); T_3 – температура закалки (2000 – 3000 K); $\{\text{CH}_4\}$, $\{\text{H}_2\}$ – количество вводимых в реактор углеводородов (1-1,5-ный избыток для SiC (1) и SiC (2); 0,1-0,5-ный недостаток для SiC (3), 1,0 – 2,5 % от объема плазмообразующего газа для SiC (4); водорода 1,0-1,5-ный избыток для газификации углерода шунгита для SiC (3), 0 – 20 % от объема плазмообразующего газа для SiC (4)).

Была проведена комплексная физико-химическая аттестация полученного наноразмерного порошка карбида кремния, включающая изучение кристаллической структуры и микроискаженности решетки, фазового и химического составов, дисперсности и морфологии частиц. Установлено, что карбид кремния синтезирован в виде тройного соединения $\text{SiC}_{0,95}\text{N}_{0,05}$, представляющего собой твердый раствор замещения атомов углерода атомами азота в решетке β -SiC. Содержание азота в нем зависит от температуры закалки и может достигать 6,2 % масс. Содержание в продуктах синтеза карбида кремния составляет, % масс.: 85 – 87 для SiC (1), 91 – 92 для SiC (2), 80 – 82 для SiC (3), 90 – 92 для SiC (4). Сопутствующими фазами являются оксиды, несвязанные углерод и кремний. Карбид кремния в наноразмерном состоянии представлен частицами, ограниченными в форме куба либо октаэдра, с тенденцией к округлению ребер и вершин, формированию выпуклых граней. Синтезированные нанопорошки карбида кремния характеризуются размерами частиц 61 – 65 нм для SiC (1), 53 – 58 нм для SiC (2), 65-67 нм для SiC (3), 58 – 61 нм для SiC (4). Нанодисперсное состояние обуславливает так называемые размерные эффекты, проявляющиеся в нестабильности для частиц размером менее 50 – 60 нм четкой огранки, характерной для массивных кристаллов, в уменьшении на 0,0003-0,0005 нм по сравнению с массивными порошками периода кристаллической решетки и в высокой микроискаженности нанопорошков, возрастающей при изменении среднего размера частиц от 68 нм до 42 нм от $(0,19 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$ до $(0,51 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$.

Исследование особенностей карбидообразования при восстановительном синтезе и модифицировании карбида кремния в плазмометаллургическом реакторе для четырех кремний-углерод-содержащих систем с использованием различных видов сырья – «твердое – газообразное», «твердое – твердое» и типов процессов – «синтез» и «модифицирование» для условий азотного и азотно-водородного плазменного потока промышленного реактора позволило выявить общий для всех систем одноканальный вариант механизма образования нанокарбида кремния с участием паров кремния и циановодорода по схеме «пар – кристалл» и предложить обобщенные гипотетические схемы карбидообразования, включающие высокотемпературную зону 5400 – 3200 K, ограниченную начальной температурой плазменного потока, в которой происходит формирование реакционной смеси, обусловленное процессами испарения, диссоциации и восстановления диоксида кремния и

кремнеземсоставляющей шунгита, кремния, карбида кремния, пиролиза метана, «газификации» углерода; более низкотемпературную зону 3200 – 2800 К, ограниченную температурным интервалом, внутри которого происходит значительное снижение концентрации циановодорода, в которой протекают процессы карбидообразования при взаимодействии в газовой фазе; зону азотирования частиц карбида кремния 2800 – 2000 К. Эти взаимодействия дополняются поверхностным насыщением нанодисперсных продуктов технологическими газами.

В работе исследован также процесс плазменного модифицирования нитрида кремния как одного из основных компонентов карбидонитридных композиций конструкционного назначения, включающий введение его микропорошка М2 в плазменный поток азота с начальной температурой 5400 К, плазмообработку и закалку при температуре 1600 К. Установлено, что продуктом плазменного модифицирования является нитрид кремния в нанодисперсном состоянии, представленный смесью α - и β -фаз. Выявлен двухканальный механизм диспергирования исходных нитридных частиц: термическое растрескивание с появлением локальных участков новой фазы (вероятно, кремния) с сохранением β - Si_3N_4 и испарение, диссоциация с последующей конденсацией по схеме «пар – кристалл» с образованием α - Si_3N_4 . Подтверждена возможность повышения окислительной устойчивости модифицированного нитрида кремния при добавке в плазменный поток азота углеводородов (метана) в количестве 0,40 – 1,20 % об. от объема газотеплоносителя. Определены оптимальные значения технологических факторов и основные характеристики модифицированного нитрида кремния: содержание основной фазы – до 91,50 % масс.; кремния и свободного углерода – до 1,10 и 0,80 % масс. соответственно, оксидов (в пересчете на SiO_2) – до 6,40 % масс., удельная поверхность 42000 – 43000 $\text{м}^2/\text{кг}$, размер частиц 53 – 55 нм.

Оценка эффективности применения нанокарбида кремния в технологии КЭП на основе хрома и конструкционной керамики

Результаты исследований позволили установить технологическую целесообразность использования для композиционного упрочнения нанокарбида кремния, получаемого по варианту SiC (2) карбидизацией микропорошка кремния метаном, и варианту SiC (4) плазменным модифицированием особо тонкого микрошлифпорошка, с удельной поверхностью 37000 – 38000 $\text{м}^2/\text{кг}$, содержащего свободного (несвязанного в карбид) углерода в количестве не более 0,05 – 0,06 % масс. Показано также, что наносостояние карбида кремния обеспечивает при композиционном хромировании по сравнению с обычным повышение в 1,6 – 2,0 раза верхнего предела допустимой катодной плотности тока, смещение по сравнению с микропорошком интервала насыщения металлической матрицы в область более низких концентраций (содержание нанопорошка в матрице снижается в 1,3 – 2,0 раза, концентрация его в электролите – в 10 – 20 раз), повышение микротвердости в 1,8 – 1,9 раза и при изменении концентрации наноразмерного порошка в матрице

от 0,15 до 0,45 % масс. в 1,25 – 2,5 раза повышение коррозионной стойкости в жидких средах в 1,3 – 1,5 раза. Достигнутые результаты свидетельствуют о формировании практически беспористых покрытий с повышенной твердостью, сопротивлением износу и коррозии в жидких и газовых средах, отсутствием трещиноватости. Для оценки возможности замены нанокарбидом кремния наноалмазов проведено сопоставление характеристик хром-карбидных и хром-алмазных электроосаждаемых покрытий. Установлено, что хром-карбидные покрытия имеют сопоставимые с хром-алмазными износостойкость, микротвердость, коррозионную стойкость, более высокий (на 70 – 100 %) срок службы при эксплуатации в условиях температур выше 473 – 573 К, достигаемые при более низких концентрациях нанокарбида в электролите, составляющих 7 – 8 кг/м³ по сравнению с 20 кг/м³ для наноалмаза, и существенном (в 5 – 6 раз) снижении стоимости 1 м³ электролита – суспензии.

Для получения керамических заготовок и изделий простой формы опробована технология твердофазного спекания нанокарбида кремния, включающая термообработку его в вакууме при 1073 К, смешивание с пластификатором и прессование при давлении 50 МПа, отжиг в течение 2-х часов в аргоне при давлении 0,1 МПа и температуре 2273 К. Установлено, что соблюдение предлагаемой технологии обеспечивает относительную плотность после формования 0,62 – 0,63, после спекания 0,95 – 0,96 и стабильную усадку 26 – 29 %. Выявлены для нанокарбида кремния такие технологические преимущества, как исключение стадий введения в шихту органических соединений, их карбонизации для получения равномерно распределенного реакционноспособного углерода, введения бора, перемешивания, что упрощает и удешевляет технологию твердофазного спекания.

Библиографический список

1. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве карбида кремния: монография: в 3 т. / науч. ред. Г.В. Галевский; Т. 3. Плазмометаллургическое производство карбида кремния для конструкционной керамики / В.В. Руднева. – М.: Флинта: Наука, 2007. – 210 с.
2. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве карбида кремния: монография: в 3 т. / науч. ред. Г.В. Галевский; Т. 1. Микрокремнезем в производстве карбида кремния / О.А. Полях, В.В. Руднева. – М.: Флинта: Наука, 2007. – 248 с.
3. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве карбида кремния: монография: в 3 т. / науч. ред. Г.В. Галевский; Т. 2. Плазмометаллургическое производство карбида кремния для гальванотехники / О.А. Полях, В.В. Руднева. – М.: Флинта: Наука, 2007. – 190 с.
4. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве карбида кремния: монография: в 3 т. / науч. ред. Г.В. Галевский; доп. том. Плазмометаллургическое производство карбида кремния: развитие теории и совершенствование технологии / В.В. Руднева. – М.: Флинта: Наука, 2008. – 387 с.

ПРОБЛЕМЫ ОЧИСТКИ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЫБРОСОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

ПАВЛОВИЧ Л.Б., МЕДВЕДСКАЯ О.О.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Черная металлургия (ЧМ) Российской Федерации (РФ) выбрасывает в атмосферу свыше 2-х млн. т выбросов в год. Загрязнение воздуха является важной проблемой ЧМ. Содержание газообразных выбросов составляет 85,4 % от общего удельного выброса вредных веществ в атмосферу в металлургических процессах. Практически в металлургии очистки от CO, SO₂, NO_x, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), в том числе бенз(а)пирена (БП) и прочих канцерогенных веществ, органических хлоридов – диоксинов – нет. Это обусловлено характерными особенностями выбросов металлургического производства:

- значительный объем отходящих газов;
- запыленность выбросов;
- низкая концентрация загрязняющих веществ;
- широкий спектр компонентного состава вредностей;
- наличие в выбросах смолистых веществ, в том числе канцерогенов и диоксинов и пр.

Все это делает строительство газоочистных сооружений очень затратными мероприятиями. Однако технологии очистки газообразных выбросов в ЧМ разработаны на все случаи жизни для любого металлургического производства, для всех основных типов выбросов, кроме диоксинов. Технологии внедряются за рубежом. У нас в России в ЧМ научились очищать выбросы в атмосферу только от пыли. Но и при очистке от пыли каждый третий источник выбросов не оснащен очистными установками. Имеет место крайне низкий уровень эксплуатации очистных сооружений: так, каждая 5-я часть пылеочистных установок не работает или работает неэффективно, коэффициент обезвреживания отходящих газов составляет всего 60 %.

В связи с этим, согласно экспертной оценке ООН, в настоящее время самыми экологически неблагоприятными городами считаются металлургические центры СНГ. В нашем городе (Новокузнецке) средняя концентрация БП в воздухе доходит до 13 ПДК, а диоксины вообще не анализируются. Хотя вклад предприятий ЧМ в выбросы диоксинов по данным стран Европейского Содружества составляет 19 %.

Таким образом, в области экологии Россия находится в таком состоянии, в котором находились центры мировой металлургии в 70-х годах прошлого века. Разрыв составляет порядка 30 лет, и очевидно, что преодолеть его быстро не удастся.

За рубежом экологические движения вынудили правительства индустриально развитых стран принять жесткие природоохранные меры, что заставило производителей черного металла провести реконструкцию своих предприятий. На каждую реконструкцию только в последнее десятилетие XX века мировые сталелитейные фирмы затратили основную часть своей прибыли. Почему же у нас это невозможно сделать? В нашем городе ЧМ дает 86 % выбросов в атмосферу, вклад ЗСМК – 48 %. В ЧМ источником выбросов канцерогенных веществ является каждое металлургическое производство. БП – это индикатор канцерогенности, потому что остальные канцерогены мы не умеем анализировать, и на них нет никаких установленных ПДК. Коксохимическое производство (КХП) дает в выбросах больше других переделов ЧМ БП и ПАУ. Удельный выброс бенз(а)пирена в КХП составляет 0,28 кг/т кокса. Программа природоохранных мероприятий ЗСМК по достижению нормативов ПДВ в атмосферу, утвержденная в 2004 году, не выполнена, и главным образом в пунктах, выполнение которых позволило бы существенно снизить выбросы БП и ПАУ по КХП.

Я предлагаю в проект решения конференции ввести пункт: обязать владельцев предприятий (ЗСМК, НКМК, НКАЗ, КЗФ и др.) выполнить намеченные природоохранные программы, т.е. их профинансировать, и разработать новые на перспективу. Ни для кого не секрет, что в 2005 – 2007 годах прибыли Евразхолдинга составляли миллиарды, а плата за выбросы, например, ЗСМК – всего 50 – 60 миллионов в год.

Плата за выбросы чрезвычайно занижена. Количественная оценка выбросов и установленные нормы ПДВ не соответствуют реальным выбросам. У нас нет независимых природоохранных служб. Службы охраны природы на заводах. Они сами составляют ПДВ, сами и контролируют выбросы в интересах производителя.

По данным НПО «Энергосталь», фактические средние выбросы газообразных токсичных веществ (кг/т продукции) на предприятиях ЧМ РФ превышают минимально допустимые концентрации:

- в агломерационном производстве в 2,5 – 7,5 раз;
- в доменном в 5 раз;
- в конвекторном в 4,5 раза;
- ЭСПЦ в 12 раз;
- в прокатном в 2 раза;
- в коксохимическом в 8 раз.

Рассмотрим как пример КХП. Известно, что удельные выбросы в атмосферу в КХП составляют 5 – 15 кг/т кокса для различных предприятий; средняя цифра по РФ – 8 кг/т кокса. Минимум – при работе на каждой батарее установок беспылевой выдачи кокса; при наличии закрытого конечного цикла охлаждения коксового газа; очистке коксового газа до санитарных норм; ликвидации прямого сброса в атмосферу из воздушников емкостного оборудования и др. Кроме построенной в комплексе с одной коксовой батареей № 1 установки беспылевой выдачи кокса, никаких других вышепере-

численных природоохранных объектов на КХП ЗСМК нет. Плата за выбросы ЗСМК, например, в 2006 году составляла всего из расчета удельного выброса 3 кг на т кокса. Это просто фантастика, не имея никаких природоохранных объектов на КХП, производя около 5 миллионов т кокса в год, платить за выбросы в 3 раза меньше минимально-возможных удельных показателей.

КХП ЗСМК взят как пример, такая же картина и на остальных производствах ЗСМК и других предприятиях города. Особенно на алюминиевом заводе. Еще в 1990 – 1992 гг. институт ВУХИН анализировал выбросы НКАЗ на содержание БП. Содержания БП на рабочих местах и после очистных сооружений превышали все существующие нормы на порядок, а завод за выбросы БП не отчитывался и не платил. Платил за выбросы смолистых веществ. За эти годы выбросов БП не стало меньше, и никаких дополнительных очистных сооружений не построено. И это подтверждают анализы снега в Кузнецком районе, где БП превышает ПДК более чем в 1000 раз.

Таким образом, заводские природоохранные лаборатории в условиях рыночной экономики не выполняют свое назначение – охрану природы. Они работают на производителя, занижая выбросы, а следовательно и плату за них.

Второе предложение в проект решения: необходимо рассмотреть возможность создания в городе независимой службы контроля за техногенными выбросами в атмосферу предприятий.

Самыми проблемными веществами для нашего города являются БП и диоксины. В ЧМ основными источниками выделения в атмосферу ПАУ, в том числе БП, являются дымовые выбросы отопительных систем и технологические выбросы каждого металлургического производства. При сжигании топлива БП начинает образовываться уже при температуре 300 – 400 °С, основная масса – при температуре 700 °С и выше. Полное разрушение БП наблюдается при температурах 1500 – 1700 °С.

Исходя из физико-химических свойств БП и высоких температур его разложения, разработаны каталитические процессы очистки от ПАУ, и в том числе от БП, которые осуществляются при температурах 350 – 450 °С, высоких объемных скоростях – до 100 тыс. м³ газа м³ катализатора – и дают высокую степень очистки – до 97 – 99 %. НПО «Энергосталь» разработана серия каталитических реакторов из черного металла, футерованных огнеупорами, простых и надежных в эксплуатации. ВУХИНОм разработан ряд дешевых и доступных для ЧМ катализаторов и технология их получения на базе рядовых и передельных металлургических шлаков. ОАО «ЗСМК» даже начал строительство установки по производству шлаковых катализаторов. Стройготовность установки была около 85 %, когда с приходом на ЗСМК Евразхолдинга все было ликвидировано.

Таким образом, основные пути снижения выбросов БП для нашего города:

1. Увеличение эффективности работы существующих пылеочистных установок, так как БП находится в 3-х агрегатных состояниях: в виде твердо-

го продукта, адсорбированного на пылевых выбросах, аэрозоля и паров. За рубежом удельный выброс пыли на тонну стали составляет 0,4 кг, у нас на передовом предприятии – «Северсталь» – 3,8 кг/т, то есть в 10 раз больше.

2. Повсеместное снижение выбросов CO, так как там, где есть CO, там присутствует и весь букет ПАУ, в том числе БП и прочих канцерогенные вещества. В настоящее время у нас выбросов CO против сталеплавильных заводов Европейского Содружества (ЕС) больше в 16 раз: Thyssen Krupp – 2,1 кг/т, ОАО «Северсталь» – 33,8 кг/т.

3. Строительство природоохранных объектов:

- установок беспылевой выдачи кокса на всех батареях ЗСМК;
- коллекторных систем сбора выбросов с емкостного оборудования и их утилизация или обезвреживание;
- очистка коксового газа, используемого как топливо, до санитарных норм;
- установок каталитической очистки выбросов СПЦ, ЦФА, УСТК на ЗСМК, цеха анодной массы на НКАЗ;
- строительство установки по производству обожженных анодов на НКАЗ.

В мире намечается процесс глобализации мировой экономики. Еще в 1992 году была выработана стратегия мирового развития, получившая название «концепция устойчивого развития». Было предложено ввести международную сертификацию природоохранной деятельности предприятий по системе ISO 14000, которая дает гарантию экологически чистого способа производства продукции и возможность централизованного управления окружающей средой на предприятии согласно нормам международного экологического менеджмента. Международная система сертификации природоохранной деятельности ISO 14000 рекомендует использовать в качестве экологических показателей производства удельные показатели, отнесенные к единице выпускаемой продукции:

- количество сырья и потребляемой энергии;
- выбросы пыли, токсичных и парниковых газов;
- образование отходов;
- процент утилизации отходов;
- количество аварийных выбросов и сбросов;
- количество километров, пройденных транспортными средствами, на единицу продукции;
- капиталовложения в охрану окружающей среды;
- число судебных преследований за нарушение природоохранного законодательства.

В таблице 1 приведены рассчитанные значения удельных экологических показателей производства тонны жидкой стали 3-х металлургических предприятий: Thyssen Krupp Stahl (Германия) с конвекторным способом производства; ОАО «Северсталь» (Россия) и ОАО «ММК им. Ильича» (Украина). Четко видно, как каждое предприятие отработало по экологии.

Таблица 1 – Удельные показатели производства жидкой стали

Показатель	Единица измерения	Thyssen Krupp Stahl	ОАО «Северсталь»	ОАО «ММК им. Ильича»
Расход энергии	ГДж/т	19,5	Н/д	23,73
Расход свежей воды	м ³ /т	2,6	9,59	38,7
Выход отходов:				
Пыль	кг/т	0,4	3,78	4,34
СО	кг/т	2,09	33,8	20,3
NO _x	кг/т	1,5	2,31	2,59
SO ₂	кг/т	1,9	1,46	4,56
Отходы	кг/т	9,0	113,0	408,0
Стоки	м ³ /т	0,24	4,36	9,73

Эти данные позволяют государственным природоохранным организациям и потребителям продукции оценить потенциальные возможности предприятия.

Третье предложение в проект решения конференции: вводить на предприятиях города международную сертификацию природоохранной деятельности ISO 14000, но не формально, как происходит сейчас, а с учетом коэффициента выхода готового продукта и учетом удельных выбросов на единицу продукции.

Подводя итоги доклада, можно сказать: проблемы очистки газообразных выбросов металлургического производства: экономические, политические и законодательные. Эти проблемы нужно решать, и как можно скорее. Так как при глобализации мировой экономики ООН, ВТО, ЕС, МБ и ЕБ в перспективе будут устанавливать долю отдельных производителей и государств в мировой торговле на основе соответствия технологических процессов производства той или иной продукции природоохранным стандартам ISO 14000. Если учесть, что доля металлургической отрасли в общем объеме производства России составляет 19,4 % и при этом практически половина производимой продукции поставляется на экспорт, то проблемы металлургического производства из чисто социальной проблемы металлургических центров могут перерасти в экономическую проблему всей страны.

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРСОНАЛОМ, ПОПАВШИМ В ЗОНУ РИСКА ВЫСВОБОЖДЕНИЯ

ХАМОНТОВА Н.В., ПЕТРОВ Е.В.

*Негосударственное образовательное учреждение
«Региональный центр подготовки персонала «Евраз-Сибирь»
г. Новокузнецк*

В экономически трудное время кадровую политику приходится пересматривать. Практика показывает, что лучше выстраивать организационную структуру и систему управления персоналом таким образом, чтобы можно было предупреждать ситуации, когда требуется сокращать численность персонала. Но если такая ситуация возникла, и персонала все-таки придется сокращать, и сокращение будет носить массовый характер, то одним из способов решения данной проблемы может стать создание на базе служб по персоналу Координационных центров, в обязанности которых входит следующее:

- создание банков данных о предприятиях и свободных рабочих местах;
- мотивация и заключение договоров с работодателями на отбор кандидатов из числа сотрудников, попавших в зону сокращения именно с данного предприятия;
- создание банка данных нуждающихся в трудоустройстве работников;
- сопоставление имеющихся вакансий и предъявляемых к ним профессионально-квалификационных требований с имеющимся в наличии персоналом и их профессиональным опытом;
- информирование работников о появившихся вакансиях, заработной плате, месте возникновения вакансии, и дате собеседования;
- оказание персоналу, попавшему в зону риска высвобождения, юридической и психологической поддержки.

Работа Координационных центров ложиться в концепцию федеральных антикризисных законопроектов:

- Закона Российской Федерации от 19.04.91 № 1032-1 «О занятости населения в Российской Федерации»;
- постановления Правительства Российской Федерации от 05.02.93 № 99 «Об организации работы по содействию занятости в условиях массового высвобождения»;
- постановления Правительства Российской Федерации от 31.12.2008 № 1089 «О предоставлении субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации на реализацию дополнительных мероприятий, направленных на снижение напряженности на рынке труда субъек-

тов Российской Федерации».

В Кемеровской области данное направление регламентируется следующими документами:

– постановлением Коллегии Администрации Кемеровской области от 6.03.2009 № 85 «Порядок организации работы по опережающему профессиональному обучению высвобождаемых работников и работников, находящихся под риском увольнения с предприятий и организаций Кемеровской области»;

– постановлением Коллегии Администрации Кемеровской области от 6.03.2009 № 86 «Порядок организации в 2009 году общественных работ, временного трудоустройства, стажировки в целях приобретения опыта работы безработных граждан, граждан, ищущих работу, включая выпускников образовательных учреждений, а также работников в случае угрозы массового увольнения».

На рисунке 1 изображена схема управления занятостью. Одним из участников процесса является Координационный центр, на схеме прослеживается место и роль Координационного Центра в структуре управления занятостью.

Эффективность реализации данных мероприятий оцениваются с учетом достижения следующих ожидаемых конечных результатов:

– снижение социального напряжения на предприятиях, проводящих сокращение персонала;

– содействие занятости персонала, попавшему в зону риска высвобождения;

– обеспечение регулируемого опережающего воспроизводства квалифицированных кадров для социальной сферы и экономики города (области);

– обеспечение экономики города (региона) конкурентоспособными и качественными трудовыми ресурсами.

В настоящее время создан Региональный координационный Центр по содействию в переподготовке и трудоустройстве персонала попавшего в зону риска высвобождения на предприятиях, управляемых ООО «ЕвразХолдинг». Данный Центр создан на базе Регионального центра подготовки персонала «Евраз-Сибирь». Результаты работы Центра: опережающее обучение более 500 человек, до конца года планируется обучить еще 400 человек и трудоустроить более 300 человек.

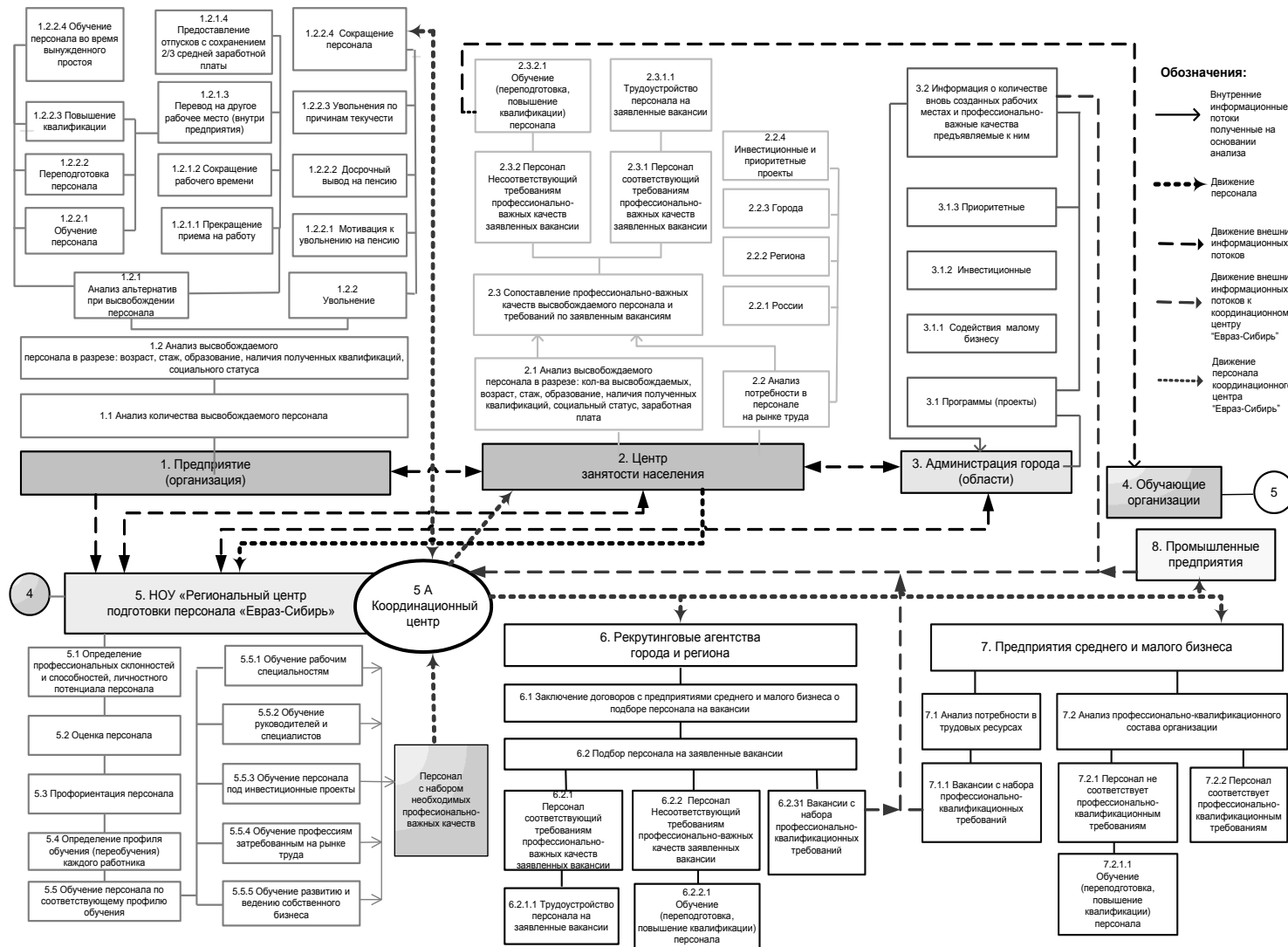


Рисунок 1 – Схема управления занятостью на базе Координационного Центра

СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 681.5:621.74

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ МАШИНОЙ ВЫДАЧИ ЗАГОТОВОК ИЗ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

БОНДАРЬ Н.Ф., КУЛАКОВ С.М., ГОЛУБЕВА Д.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Выдача заготовки из нагревательной печи мелкосортного прокатного стана ОАО «ЗСМК» осуществляется с помощью специальной машины выдачи (МВ). Управление МВ осуществляется в режимах: «Наладочный», «Ручной циклический» и «Автоматический». При нормальных условиях работы управление МВ ведется в автоматическом режиме [1].

Для режимов управления «Автоматический» и «Ручной циклический» установлены следующие циклы:

– «*Вперед*» – МВ снимает нагретую заготовку со стационарного пода печи и переносит ее на внутripечной рольганг выдачи. Программа управления МВ представлена на рисунке 1;

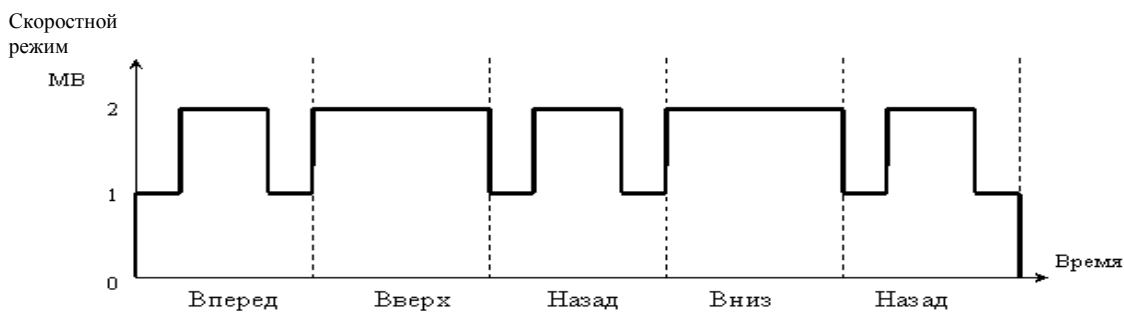


Рисунок 1 – Программа управления МВ, цикл «Вперед»

– «*Назад*» – МВ снимает заготовку с рольганга выдачи и переносит ее на стационарный под печи для нагрева или возврата. Программа управления МВ представлена на рисунке 2.

За исходное состояние МВ принято положение внизу вне печи («сзади»).

Существенным недостатком действующей подсистемы «Транспорт» АСУ нагревом заготовок является быстрый износ гидравлического оборудо-

вания, креплений шагающих балок (ШБ) и машины выдачи. Быстрый износ креплений ШБ и МВ происходит из-за сильных динамических ударов при подъеме и опускании заготовок. Износ гидравлического оборудования происходит в результате действия гидравлических ударов в системе гидропривода. Для уменьшения износа предлагается подъем и опускание ШБ, МВ начинать и заканчивать с движения на первой скорости (как это установлено при горизонтальном перемещении).

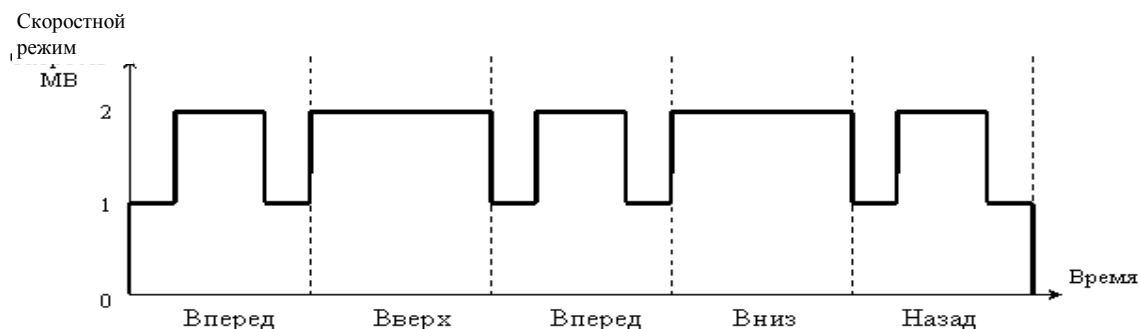


Рисунок 2 – Программа управления МВ, цикл «Назад»

Разработка программ управления МВ разработаны с использованием [2, 3, 4]. Эти разделы программы управления МВ будут иметь следующий вид (рисунки 3 и 4).

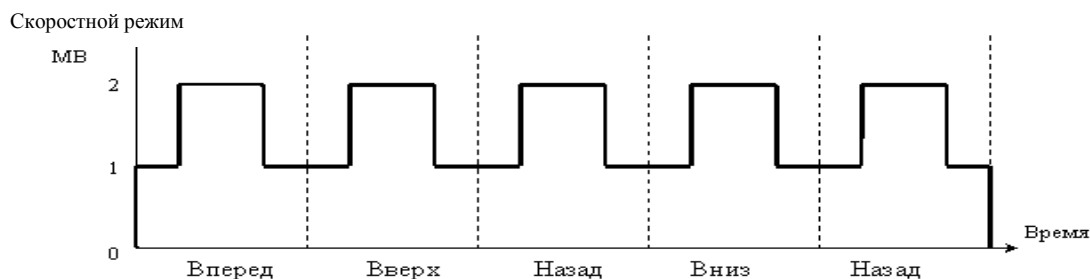


Рисунок 3 – Программа управления МВ, цикл «Вперед»

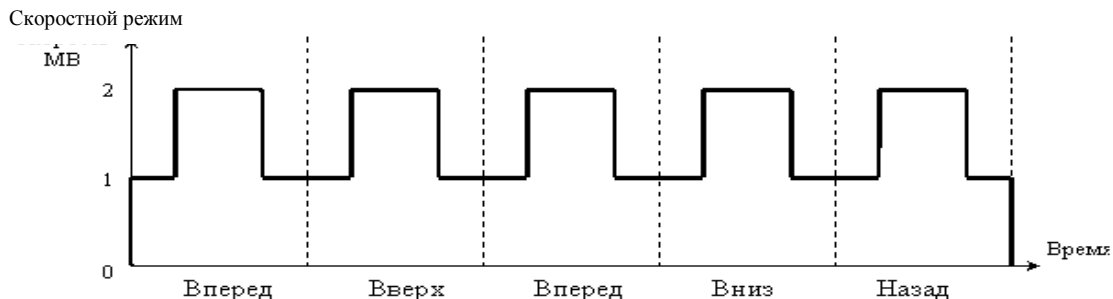


Рисунок 4 – Программа управления МВ, цикл «Назад»

Для режимов управления «Автоматический» и «Ручной циклический» предлагаются следующие циклы МВ:

– «Вперед»– из исходного положения МВ начинает движение рабочих органов – РО вперед на первой скорости, потом происходит переход на вторую скорость и при завершении движения вновь происходит переход на первую скорость. Затем РО МВ перемещаются вверх на первой скорости, переключаются на вторую и при завершении движения вновь переходят на первую. После чего РО МВ двигаются назад, аналогично движению вперед. Опускание РО МВ происходит также как и подъем. В завершении цикла РО МВ возвращаются в исходное положение;

– «Назад» – программа этого цикла аналогична циклу «Вперед».

Продолжительность цикла движения рабочих органов МВ зависит от продолжительности цикла движения ШБ, в частности составляет 38,8 с (при шаге 300 мм). Движение МВ блокируется при перемещении ШБ назад и вверх. Таким образом, движение в печь МВ начинает тогда, когда ШБ начинают двигаться вперед. Исходя из этого можно сделать вывод, что продолжительность подъема и опускания штанг МВ, а также скоростные режимы будут такие же как и у ШБ, т.е.: $T_{B1}^{MB} = 2,6$ с и $T_{B2}^{MB} = 2,6$ с, $V_{B1}^{MB} = 0,020$ м/с и $V_{B2}^{MB} = 0,039$ м/с. В горизонтальном же направлении МВ должна двигаться быстрее, т.к. необходимо за одно и то же время пройти большее расстояние, чем ШБ. Продолжительность движения в горизонтальном направлении составляет 11,7 с.

При движении в печь МВ совершает перемещение на 0,500 м. Средняя скорость МВ составит 0,043 м/с. Продолжительности и скорости перемещения составят: $T_{Г1}^{MB} = 3,9$ с и $T_{Г2}^{MB} = 3,8$ с, $V_{Г1}^{MB} = 0,032$ м/с и $V_{Г2}^{MB} = 0,065$ м/с.

При движении назад МВ совершает сначала путь длиной 0,350 м, а затем в 0,150 м. Средняя скорость МВ также составит 0,043 м/с. При перемещении на 0,150 мм двухскоростной режим не устанавливается, т.к. расстояние невелико. При расстоянии равном 0,350 м скорости будут такие же, как и при движении вперед, а продолжительности перемещения РО составят: $T_{Г1}^{MB} = 2,8$ с и $T_{Г2}^{MB} = 2,7$ с соответственно.

При выборе режима загрузки по 2 заготовки машина выдачи должна совершить два движения в печь на каждый цикл работы шагающих балок. При этом ход штанг машины выдачи в печь на первом и втором цикле будет отличаться на величину равную ширине заготовки. Движение МВ блокируется при перемещении ШБ назад, вверх, вперед. Таким образом, движение в печь МВ начинает тогда, когда ШБ начинают опускаться. Для этого режима необходимо рассчитать по-новому продолжительности и скорости движения МВ.

При разработке автоматизированной системы управления загрузкой, перемещением и выдачей заготовок в алгоритм управления машиной выдачи также необходимо внести изменения. За время одного цикла шагающих балок

МВ должна совершить два движения в печь (выдать две заготовки). Новый алгоритм управления РО МВ представлен на рисунке 5.

Ход машины выдачи в печь на каждом втором цикле больше относительно первого цикла на ширину заготовки (100 мм). Внося изменения в алгоритм управления МВ необходимо учесть, что должна быть возможна выгрузка и по одной заготовке.

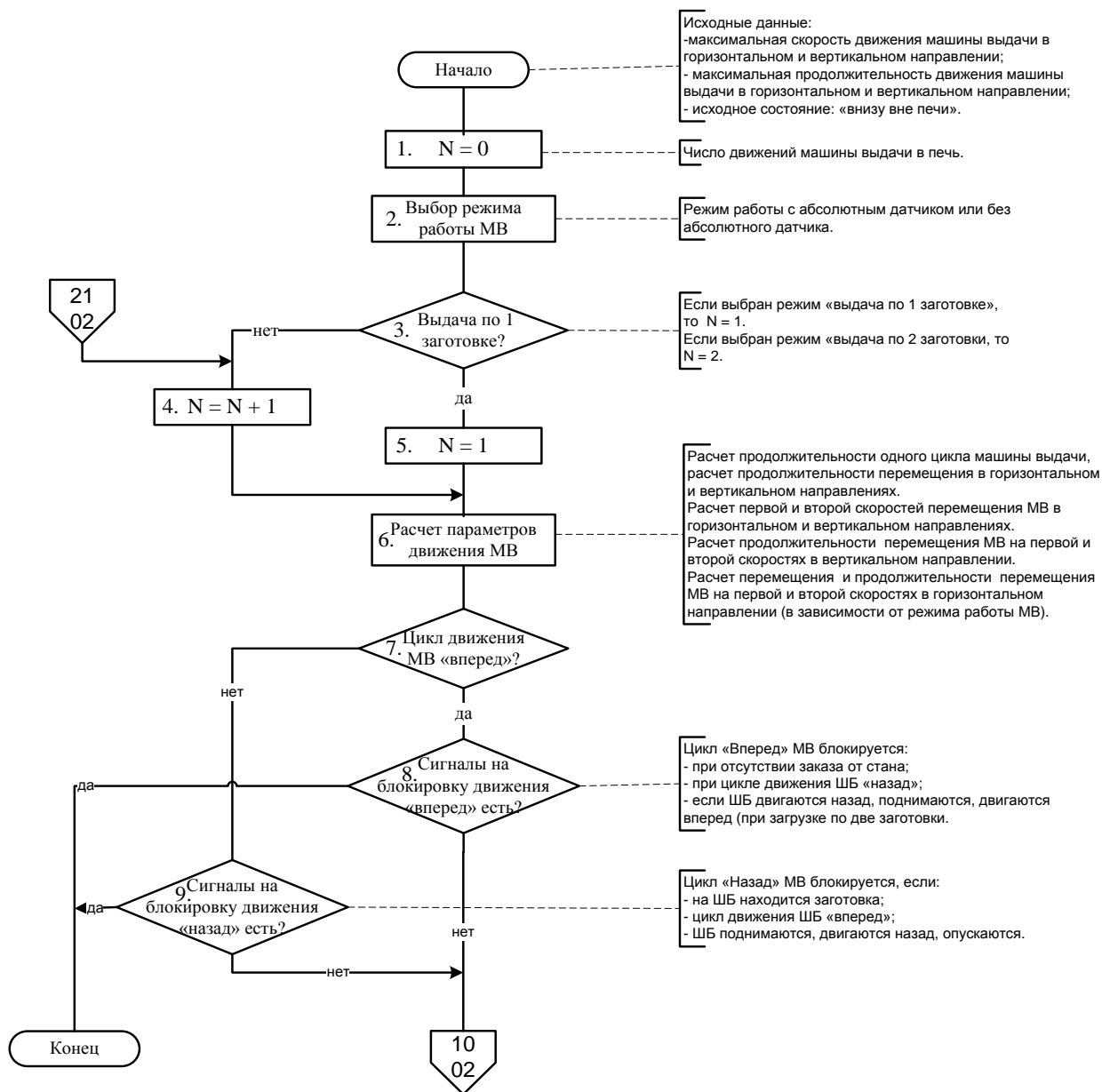
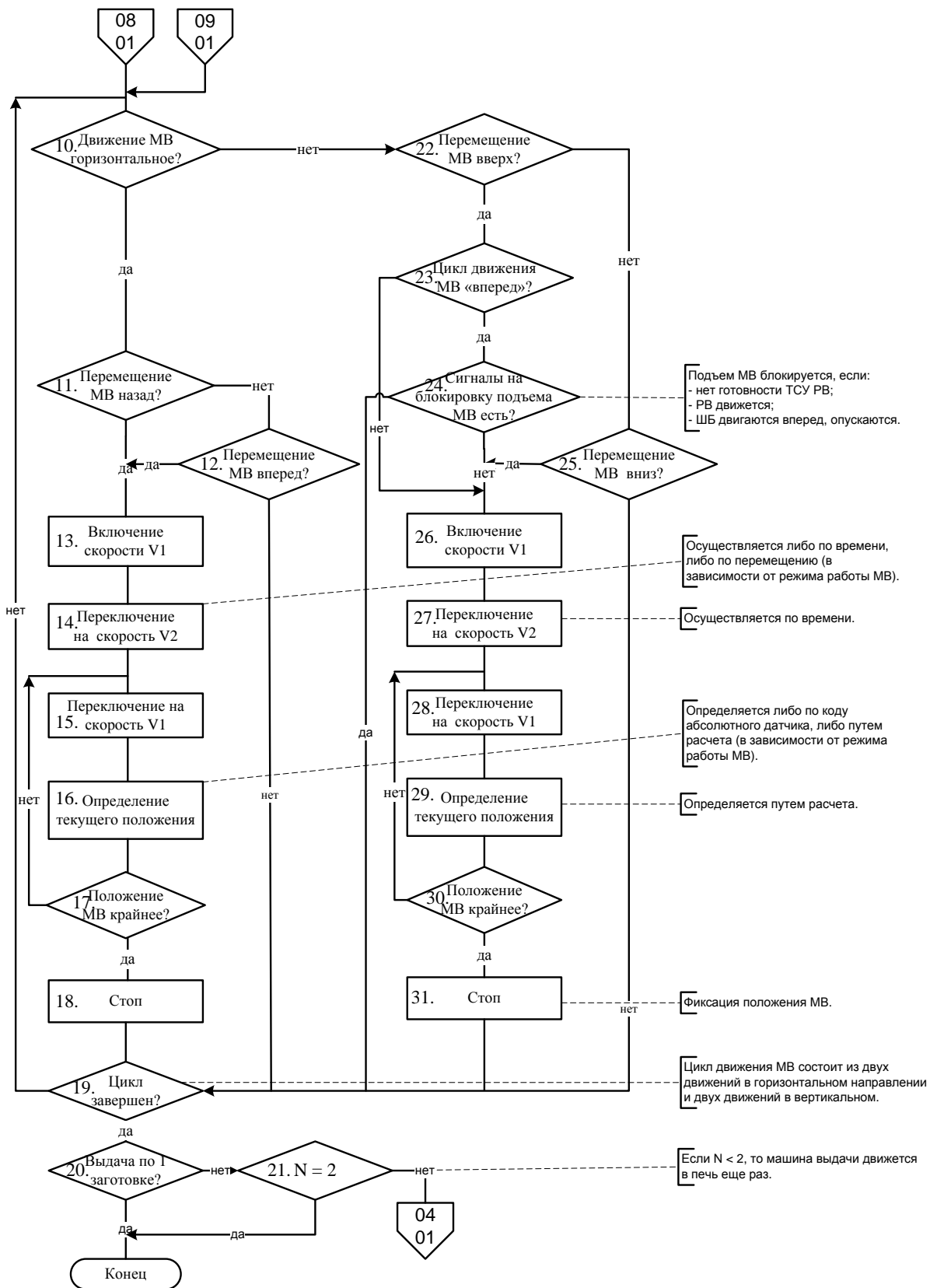


Рисунок 5 – Алгоритм управления машиной выдачи



Окончание рисунка 5

Библиографический список

1. Мокеров С.С. Автоматизированная система управления технологическим процессом нагрева заготовок в печи 1а стана 250-2. Производственно-техническая инструкция / С.С. Мокеров, О.Ю. Ефимов. – Новокузнецк: ОАО «ЗСМК», 2000. – 13 с.
2. Стариков В.С. Проектирование футеровки и систем автоматизации методических печей. Учеб. пособие / В.С. Стариков, С.М. Кулаков, М.Б. Купчик и др. – Новокузнецк: СибГИУ, 1999. – 124 с.
3. Вольфман И.Б. Система управления агрегатами нагревательных печей / И.Б. Вольфман, М.Д. Климовицкий // Сталь – 2000. – № 8. – С. 38 – 42.
4. Темлянцев М.В. Компьютерные методы проектирования: Лабораторный практикум Ч. 1. / М.В. Темлянцев, Н.В. Темлянцев. – Новокузнецк: СибГИУ, 2006. – 16 с.

УДК 681.53

ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА В РЕЖИМАХ ПОВЫШЕННЫХ НАГРУЗОК

ГАПОНЕНКО А.Ю.

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

В декабре 2006 г. на паровоздуховной станции (ПВС) Западно-Сибирского металлургического комбината, согласно плану использования вторичных энергоресурсов, введен в эксплуатацию турбогенератор мощностью 12 МВт с турбиной противодавления пара, подаваемого в сети комбината.

Технические данные основного оборудования:

– Турбина типа Р-12-8.8/3.1-1, с номинальным расходом пара 182,4 т/час.

– Турбогенератор типа Т-12-2У3, 12 мВт, 10,5 кВ, 825 А, 3000 об./мин, $\cos\phi_n = 0,8$. Турбогенератор оснащен цифровой безщеточной системой возбуждения типа СВБД-Ц-231-263-10.5-2 УХЛ4.

По настоящее время этот комплекс успешно функционирует и играет существенную роль в энергосбережении на комбинате. За 9 месяцев этого года генератор выработал около 49 миллионов кВт-час электроэнергии. Ранее это просто выбрасывалось на воздух.

Данное сообщение посвящено некоторым техническим проблемам эксплуатации этого немаловажного узла.

Схема подключения турбогенератора к заводским сетям 10 кВ в нынешнем ее виде представлена на рисунке 1

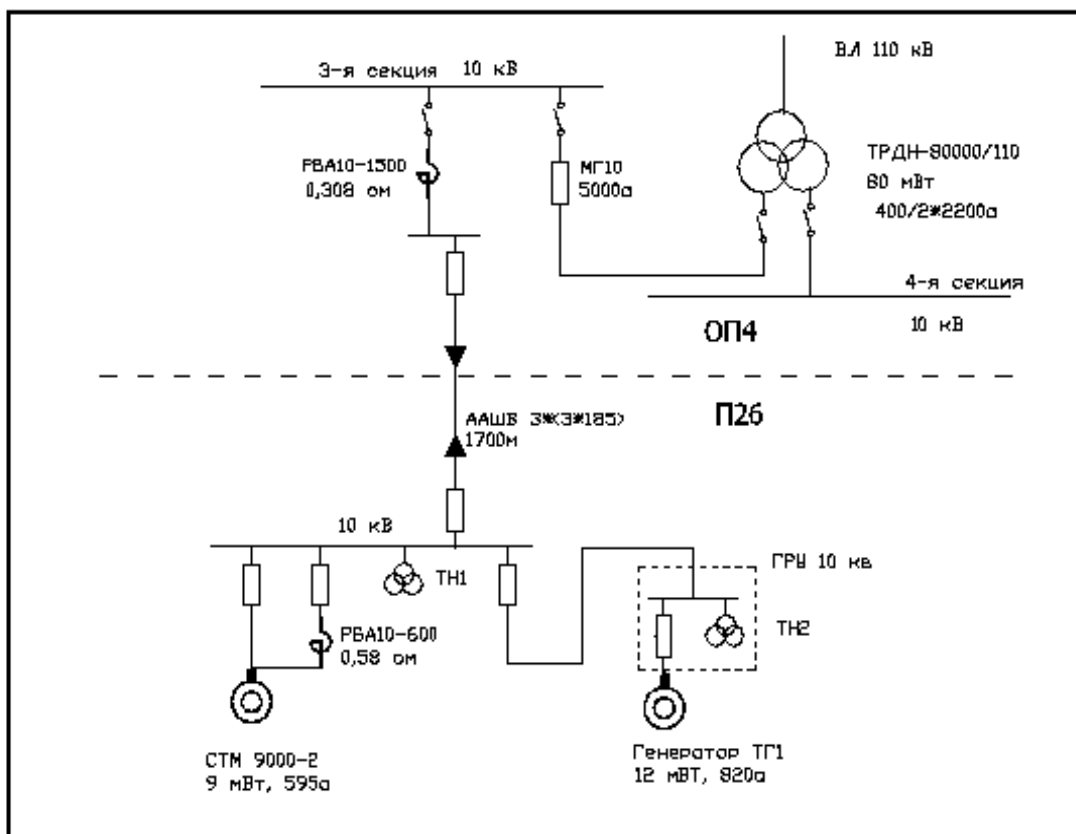


Рисунок 1 – Схема подключения турбогенератора

Особенностью данной схемы является параллельное подключение турбогенератора к мощному синхронному двигателю компрессора, обеспечивающему подачу сжатого воздуха в общую магистраль комбината, и наличие реактированной кабельной линии связи от опорной подстанции, обеспечивающей связь с энергосистемой.

Типичная диаграмма нагрузок генератора и компрессора за сутки приведена на рисунке 2. Данные получены из системы АСКУЭ комбината с электронных электросчетчиков типа СЭТ4 при 3-минутном усреднении мощностей.

Из анализа диаграммы очевидно, что данная система турбогенератор – компрессор не может работать устойчиво без постоянной связи с питающей энергосистемой. Дефицит мощности генератора (район от 5 до 17 часов на рисунке 2) покрывается из энергосистемы, и, наоборот, избыток его мощности «сливается» на другие нагрузки опорной подстанции ОП4, разгружая трансформатор 110/10 кВ (см. рисунок 1).

Важную роль в работе генератора играет автоматическая система регулирования возбуждения. Как уже упоминалось, это микропроцессорная безщелочная система регулирования, позволяющая выбирать один из трех алгоритмов управления возбуждением: поддержания напряжения статора, реактивной энергии или $\cos \varphi$.

Мощности компрессора ЭК9 и турбогенератора ТГ1

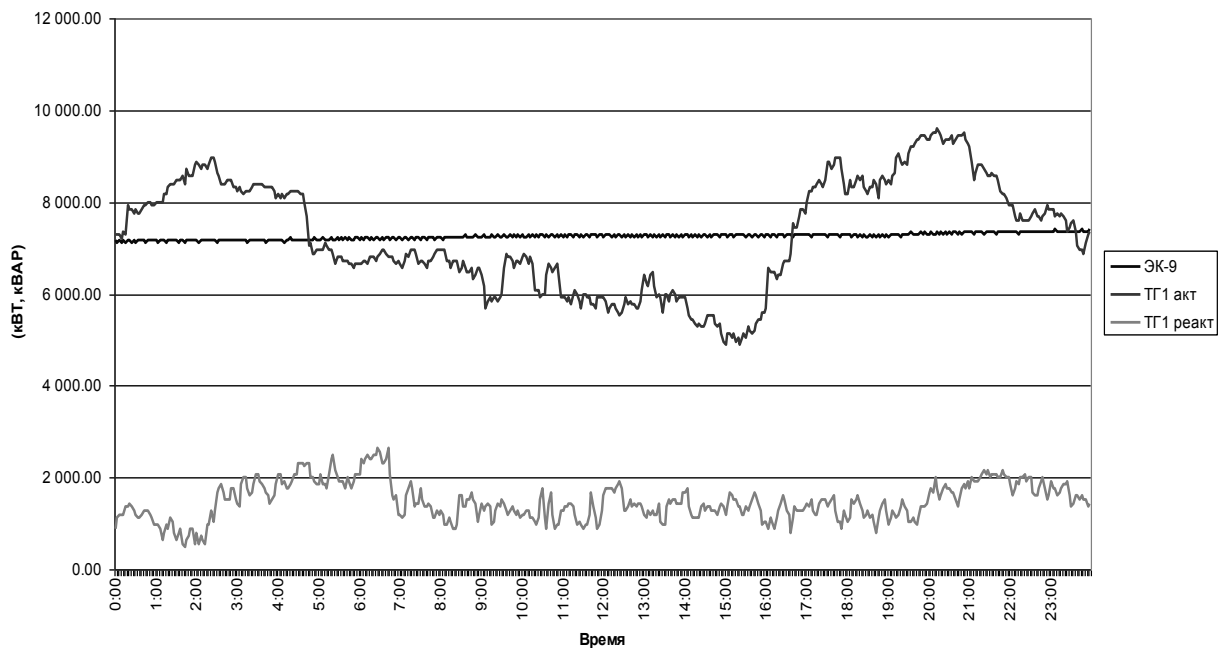


Рисунок 2 – Диаграмма нагрузок генератора ЭК9 и компрессора ТГ1 за сутки

Основной режим АРВ турбогенератора выбран по поддержанию напряжения статора, который обеспечивает устойчивую работу генератора, и при имеющих место отклонениях напряжения в сети обеспечивает оптимальную загрузку генератора по реактивной мощности на уровне 1,5 – 2 мВАР, при изменении активной мощности в диапазоне 5 – 9 мВт.

Итак, в нормальных режимах электрических сетей и при наличии связи с системой данный комплекс работает устойчиво и обеспечивается независимость работы электрических машин. Независимость работы необходимо обеспечить во всех вариантах, поскольку паровая турбина генератора и компрессор сжатого воздуха являются технологически совершенно разными участками ПЭС.

Не вызывает проблем запуск турбины и подключение турбогенератора на параллельную работу с сетью не зависимо от состояния компрессора, включен он или нет.

Проблема возникает во время пуска компрессора при уже работающем турбогенераторе. Из-за ограниченной мощности питающей системы и реактивной линии от опорной подстанции при реакторном пуске компрессора возникает посадка напряжения до уровня 0,75 номинального, на время до 20 с.

Как отработает АРВ турбогенератора, и по какому алгоритму управления она должна работать при таком возмущении в питающей сети? Какой запас устойчивости будет у турбогенератора, не выпадет ли он из синхро-

низма, не отключится ли защитой по максимальному току или от перегрузки? Эти основные вопросы встали при первой же попытке запуска компрессора. Было решено произвести осциллографирование параметров турбогенератора. Эта осциллограмма приведена на рисунке 3.

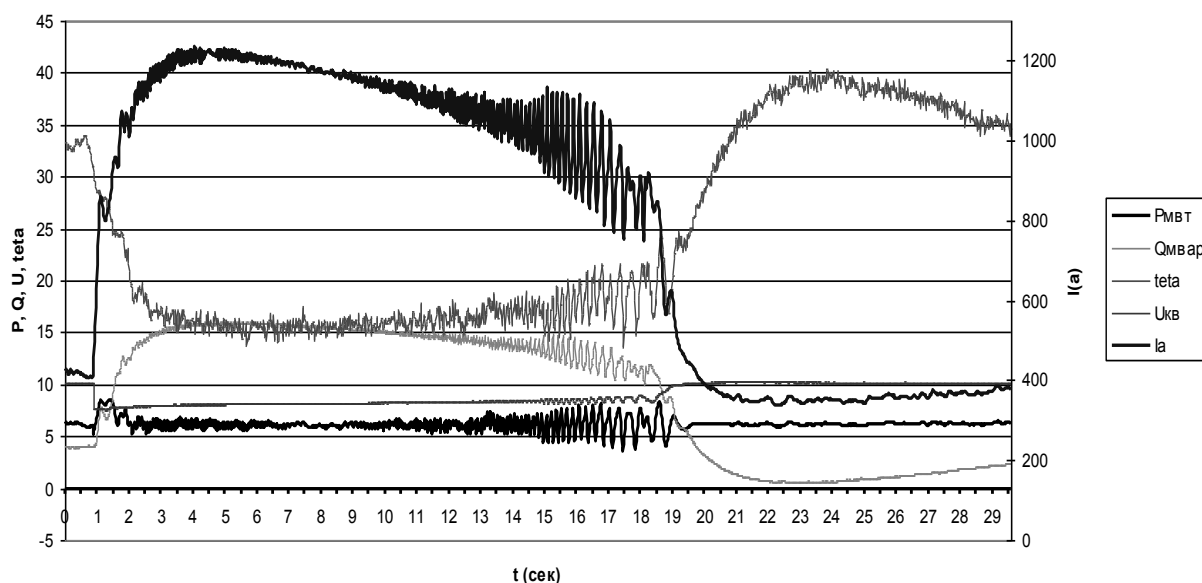


Рисунок 3 – Осциллограмма параметров турбогенератора

Из осциллограммы видно, что активная мощность турбогенератора, определяемая расходом пара через турбину, остается на прежнем уровне. АРВ по напряжению пытается отработать заданное напряжение. Значительно повышается ток статора (до $1,5 I_n$) и реактивная составляющая мощности (до 16 мВАР). За счет повышения реактивной мощности существенно уменьшается угол нагрузки θ , т.е. повышается запас устойчивости генератора. Однако реактивной мощности генератора не достаточно для поддержания напряжения сети, и в течение всего времени пуска компрессора генератор испытывает значительную перегрузку по току. Такой «стресс», бесполезный по своим результатам, не может остаться бесследным для длительной и надежной эксплуатации генератора.

С аналогичными результатами закончились попытки пуска компрессора при выборе других возможных алгоритмов АРВ турбогенератора, поскольку данная система возбуждения автоматически переходит в режим поддержания напряжения статора при некотором пороговом снижении напряжения. Изменение этого порогового напряжения недоступно для пользователя, и оно даже не указано в документации.

Была использована единственная возможность для опробования иного режима АРВ – отключение измерительных цепей напряжения статора. При этом система возбуждения переводится в аварийный режим поддержания постоянства тока возбуждения. На рисунке 4 приведена осциллограмма па-

раметров генератора при пуске компрессора и при постоянном токе возбуждения. Мы ожидали при этом увеличения угла θ , и с целью снижения риска выпадения генератора из синхронизма, активная мощность генератора была понижена, а реактивная несколько увеличена.

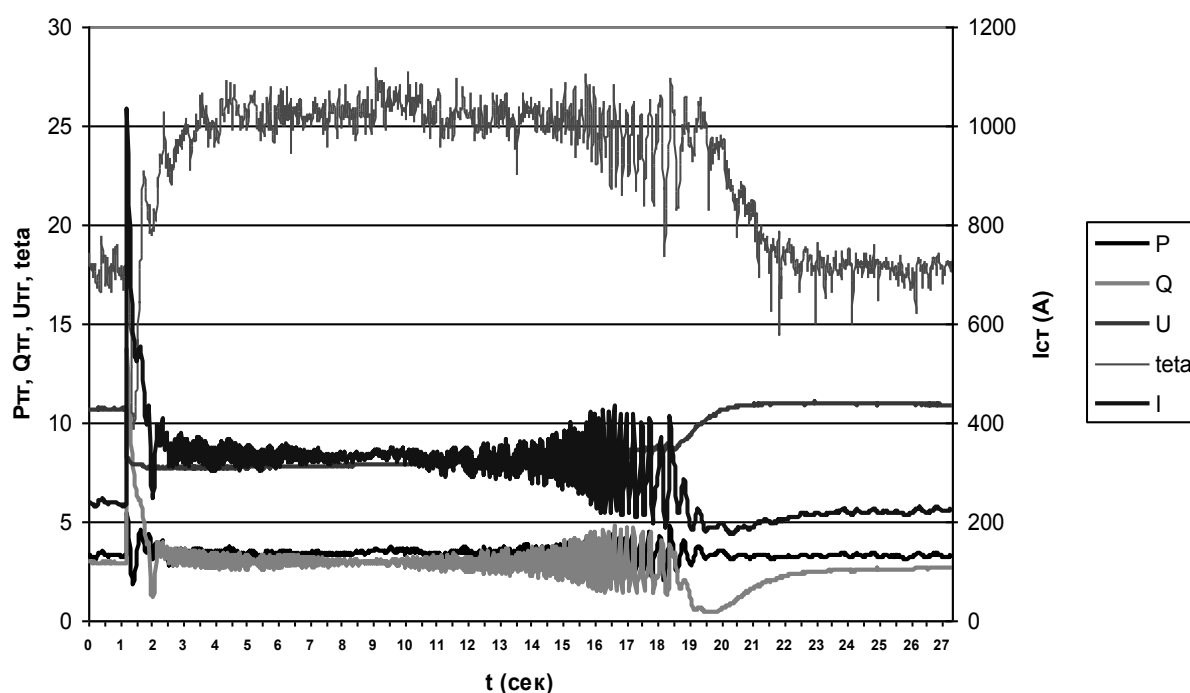


Рисунок 4 – Осциллограмма параметров генератора при пуске компрессора и при постоянном токе возбуждения

Из анализа этой осциллограммы видно, что активная и реактивная мощности генератора остаются на прежнем уровне, как и до включения компрессора. От первоначального броска тока в момент внезапного перепада напряжения статора избавиться невозможно. Этот ток присутствует до затухания электромагнитного переходного процесса в обмотках статора генератора. В целом, данный переходный процесс в отношении перегрузки турбогенератора выглядит предпочтительней по сравнению с работой АРВ по напряжению.

Однако существенное увеличение угла нагрузки сокращает запас устойчивости генератора. В таком режиме АРВ пуск компрессора при активной мощности турбогенератора на уровне 8,5 – 9 мВт неизбежно приведет к выпадению генератора из синхронизма и немедленному его отключению защитами.

Необходимо остановиться на применяемой технологии получения этих данных, особенно физического угла θ ($teta$ на рисунках 3 и 4) между поперечной осью вращающегося ротора и результирующим вектором напряжения.

Основной элемент регистрирующей системы – быстродействующий 16-ти канальный АЦП типа Е-440, оснащенный по входам линейными разделителями потенциалов до 2 кВ с делителями или усилителями по назначению. Ток фазы В снимался с шунта 10а/75мв во вторичной цепи трансформатора тока. Напряжение статора (фаза А-С) снималось с измерительного трансформатора напряжения 10/0.1 кВ. Записывался также импульсный сигнал датчика. Периодичность измерений установлена 40 мс, т.е. 500 выборок за период питающего напряжения. В момент осциллографирования параметров турбогенератора АЦП формирует текстовый файл с данными по каждому каналу и через USB порт записывает этот файл на компьютер. Фрагмент записи процесса, длительностью 30 сек, составляет 750 тысяч записей.

Обработка массива данных производилась с помощью специально разработанного программного обеспечения в среде MS ACCESS. При этом для каждого периода напряжения статора, обрабатывая по 500 значений, по известным соотношениям определялось действующее значение напряжения и тока статора, реактивная мощность. Полная и активная мощности определялись однократным вычислением за период.

$$U_d = \sqrt{\sum(U_{ac}^2) * \Delta t / T},$$

$$I_d = \sqrt{\sum(I_b^2) * \Delta t / T},$$

$$Q = 3 * \sum(U_{ac} * I_b) * \Delta t / T$$

$$S = \sqrt{3} * U_d * I_d,$$

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2}$$

Угол θ определялся в электрических градусах за каждый период по фазе средней линии датчика импульсов относительно точки перехода через 0 напряжения статора. При этом до калибровки датчика импульсов возможно определить лишь относительное изменение угла, но не его абсолютную величину. Калибровка датчика производится на минимально возможной нагрузке турбогенератора. Зафиксированное в этом режиме положение импульса соответствует 2 – 3 градусам. При установленной частоте 500 выборок за период обеспечивается точность определения угла θ не лучше +/- 0,8 градусов.

На рисунке 5 для пояснения приводится фрагмент одного периода напряжения статора и сигнала индуктивного датчика.

На рисунке 5 на осциллограмме напряжения статора отчетливо видны высшие гармонические составляющие и помехи. Эти же возмущения присутствуют и в нулевой окрестности напряжения статора, что приводит к фиксации многочисленных переходов через 0, и невозможности точного определения периода. В этой связи сигнал по напряжению статора предварительно подвергался линейному сглаживанию в нулевой окрестности для тех периодов, где наблюдались эти многочисленные переходы через 0.

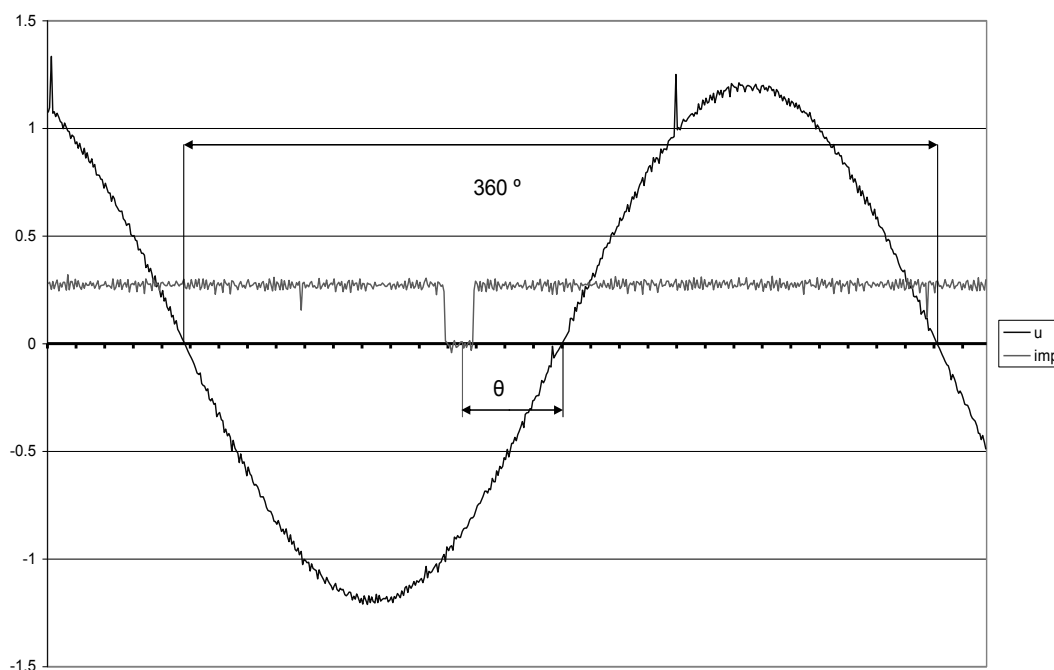


Рисунок 5 – Фрагмент одного периода напряжения статора и сигнала индуктивного датчика

Таким образом, применяемая методика измерений и расчетов, не претендуя на высокую точность, дает представление об электромеханических процессах, происходящих в электрической машине при возмущениях.

Для определения нулевого значения угла θ произведено аналогичное осциллографирование при минимальной активной нагрузке турбогенератора 0,35 – 0,4 мВт (3 % P_n) и 5 мВАР реактивной мощности, используя возможности регулирования расхода пара и реактивной мощности в режиме АРВ по реактивной мощности. Измеренная при этом величина фазового сдвига импульса датчика принималась за 3 градуса. После этого становится возможным вычислить абсолютные значения угла θ .

Возвращаясь к экспериментам с турбогенератором, можно сделать следующие выводы:

1. В работе турбогенератора возникает неблагоприятный режим при пуске электрокомпрессора.

2. При удаленных коротких замыканиях в питающей сети, при более глубоких посадках напряжения, вероятно, будет иметь место еще большая генерация реактивной энергии, которая будет подпитывать место короткого замыкания, увеличивая там разрушения. Это является вторым негативным фактором работы АРВ по напряжению.

3. Для обеспечения устойчивой работы генератора при пуске компрессора не требуется столь значительной перегрузки по току и реактивной энергии. Достаточно было бы сохранить угол θ в прежнем диапазоне или даже допустить некоторое его увеличение.

4. Устройство данной микропроцессорной системы возбуждения не позволяет изменять алгоритмы автоматического управления, поскольку они реализованы на программном уровне, закрытом для пользователей.

5. Рекомендовать перевод системы возбуждения в аварийный режим поддержания тока возбуждения невозможно из-за опасности выпадения из синхронизма турбогенератора.

В заключение необходимо сказать, что на наш взгляд оптимальной была бы система АРВ с автоматически переключающимися алгоритмами: по напряжению при нормальном уровне питающего напряжения, например до – 5 – 10 %. Переключение в режим стабилизации тока возбуждения при дальнейшем снижении напряжения. И, наконец, включение ограничителя угла нагрузки при его опасном приближении к критическим углам. Для этого в системе возбуждения нужен датчик угла θ , работающий в реальном времени. В нашей организации разрабатывается такой датчик на базе микроконтроллера и примерно через месяц он должен быть реализован в железе.

И последнее – поскольку синхронные машины обрабатываемые, то все выводы справедливы и для синхронных двигателей. Для возбуждателей синхронных двигателей также был бы полезен ограничитель угла θ , вместо форсировки возбуждения при посадках напряжения. Возможно, данное сообщение заинтересует разработчиков и изготовителей систем возбуждения.

УДК 681.5:669.045.554

МЕТОДИКА ОГРАНИЧЕНИЯ БРОСКОВ ТОКА ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ ПЕЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА УСТАНОВКИ «ПЕЧЬ–КОВШ»

ГЕНЕРАЛОВ А.А.

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

Процесс включения печного трансформатора на установке печь-ковш нередко сопровождается броском тока, который может достигать порога срабатывания первой ступени максимальной токовой защиты питающего трансформатора. Причиной этих срабатываний является переходные процессы, проходящие в момент подачи напряжения на печной трансформатор. Количественные показатели этого процесса определяются как характеристиками магнитной системы трансформатора, так и моментом включения-отключения трансформатора.

Броски тока намагничивания могут иметь большую амплитуду и длительность протекания, что вызывает такие нежелательные эффекты, как потенциальная опасность повреждения обмоток трансформатора из-за чрезмерных динамических усилий и снижение срока его службы. Кроме того, генерируемый трансформаторами богатый высшими гармониками ток может

вызвать ложную работу устройств релейной защиты и автоматики, а также ухудшить качественные показатели режима работы силового оборудования в энергосистеме.

При отключениях трансформатора от сети в его магнитной системе сохраняется остаточная индукция. При последующем его включении в неблагоприятный момент времени и при наличии в магнитной системе такой остаточной индукции броски тока намагничивания могут существенно возрасти.

На величину индукции, оставшейся в магнитной системе после отключения трансформатора от сети, влияют многие факторы: характер нагрузки, ток среза выключателя, соотношение активной и индуктивной составляющих тока нагрузки трансформатора, исходный режим трансформатора перед его отключением (установившийся или неустановившийся).

В трехфазном трансформаторе на величину остаточной индукции в магнитной системе фаз, помимо рассмотренных факторов, оказывает влияние обмотка низшего напряжения, а также неодновременность отключения фаз трансформатора.

Зависимость значения пускового тока от момента включения трансформатора объясняется результатом геометрического сложения векторов остаточной намагниченности и пускового магнитного потока в стержнях трансформатора. Если в момент подачи напряжения значения векторов имеют согласное направление и максимальное значение, то это вызывает большее значение пускового тока трансформатора. Значение этого тока, при неблагоприятном итоге сложения векторов может превышать номинальную величину в 2 – 3 и более раза. Такие броски тока, как было сказано выше, приводят к старению изоляции, уменьшению срока службы трансформатора. В качестве примера такой ситуации приведен процесс включения печного трансформатора установки печь-ковш на рисунке 1.

Благоприятным моментом включения трансформатора будет момент, когда значения векторов равны, а направления противоположны. В этом случае, ток при включении не будет превышать значение тока холостого тока.

Для реализации этого принципа, необходимо устройство, которое синхронизировало бы команды на отключение – включение высоковольтного выключателя трансформатора с его питающим напряжением. Следует отметить, что такая синхронизация возможна при стабильных значениях собственного времени срабатывания выключателя на включение и на отключение.

На элегазовом выключателе печного трансформатора 40 МВА, 35 кВ, установленного в конверторном цехе ОАО «ЗСМК» произведена серия опытов, которая показала, что время включения имеет разброс не более 0,5 ms, и составляет 76 ms. Время отключения имеет такой же разброс, и составляет 46 ms.

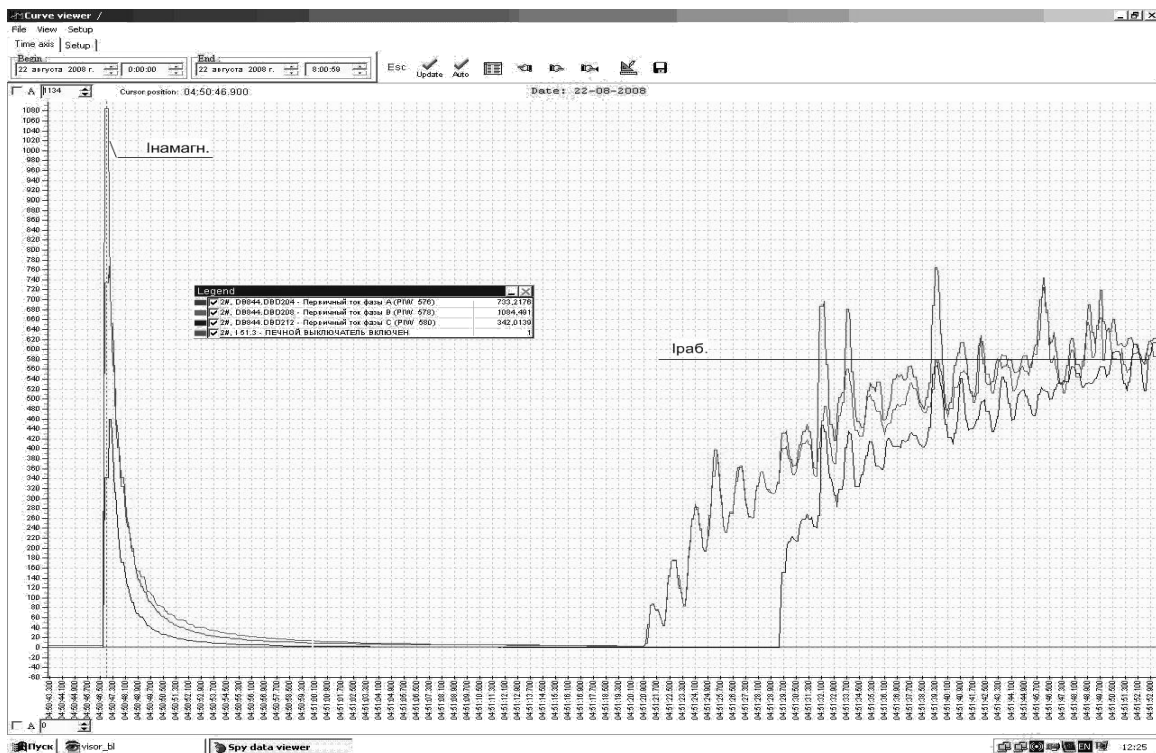


Рисунок 1 – Процесс включения печного трансформатора установки печь-ковш

Если сформировать сигнал включения или отключения в определенную фазу питающей сети, то и включение/отключение силовых контактов выключателя произойдет также в определенную фазу, при стабильном собственном времени выключателя. Сказанное поясняется диаграммой на рисунке 2. В какое бы время ни пришел входной сигнал управления (пунктирная зона входного сигнала), на выходе устройства сигнал сформируется всегда в определенную фазу напряжения сети. Поскольку времена включения и выключения различны, то необходимо иметь два канала синхронизации: на включение и на отключение. Задержка по каждому из каналов нужно регулировать в пределах 0 – 20 мс. Это позволит получать включение/отключение силовых контактов выключателя в любую фазу.

На ОАО «ЗСМК» установлен опытный блок синхронизации по функциональной схеме, представленной на рисунке 3, выполненный на базе микроконтроллера. Его основные параметры:

1. Напряжение питания и синхронизация – 220 вольт от сети переменного тока.
2. Напряжение внешней синхронизации – 100 вольт переменного тока.
3. Диапазон регулировки времени задержки – 0 – 17,5 мс, с шагом 0,42 мс.

Результат его функционирования представлен на рисунке 4.

Учитывая частоту коммутаций выключателя не менее 80 циклов в сутки, синхронизатор весьма благоприятно влияет на эксплуатацию трансфор-

матора, выключателя и питающих сетей.

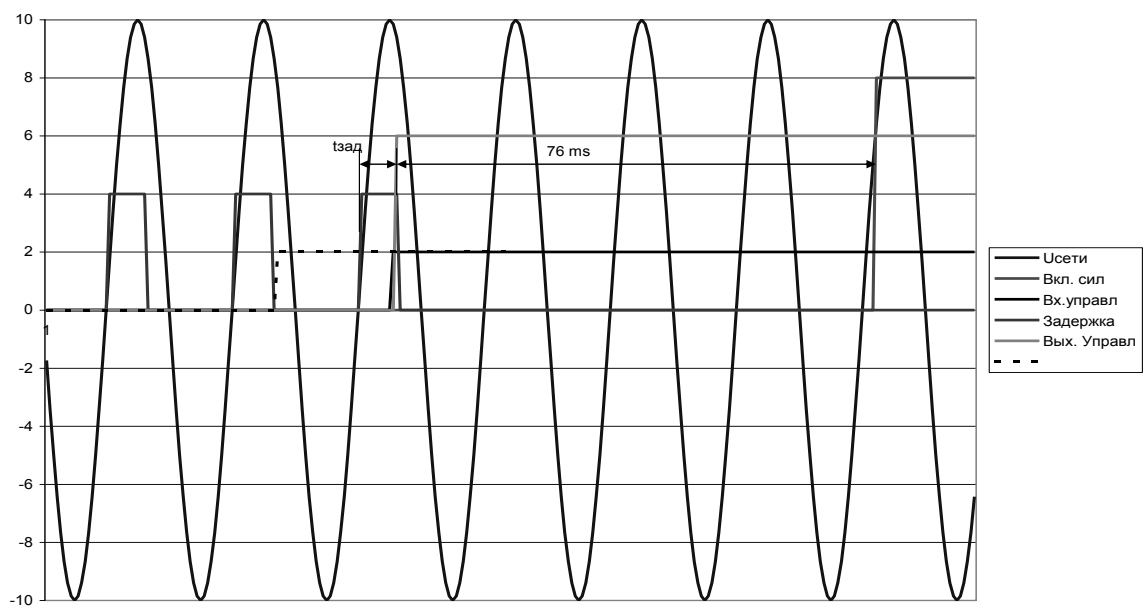


Рисунок 2

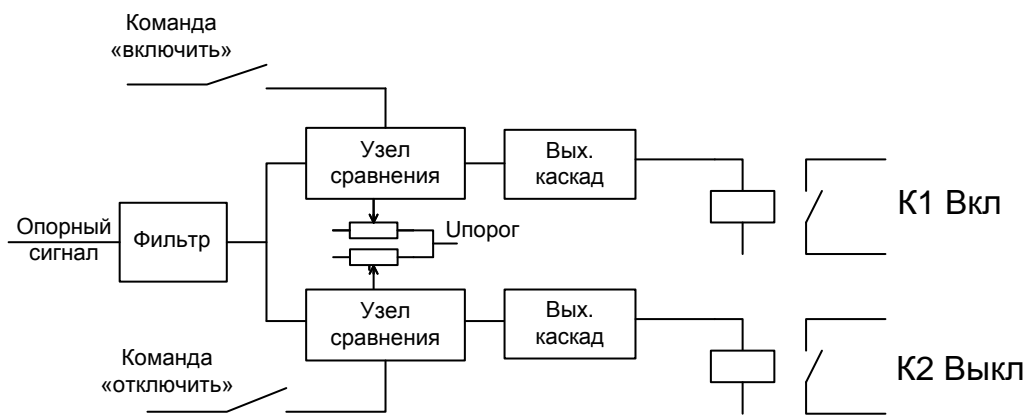


Рисунок 3 – Схеме опытного блока синхронизации

Поскольку на современном металлургическом предприятии все электрические сети синхронизированы, включая низковольтные сети собственных нужд, то синхронизацию можно осуществлять от любой фазы собственных нужд.

Необходимо упомянуть, что сигналы релейной защиты на отключение выключателя выполняются помимо синхронизатора, чтобы не задерживать аварийное отключение выключателя.

Применение синхронизатора возможно при стабильных собственных временах включения / отключения выключателя и его схемы управления.

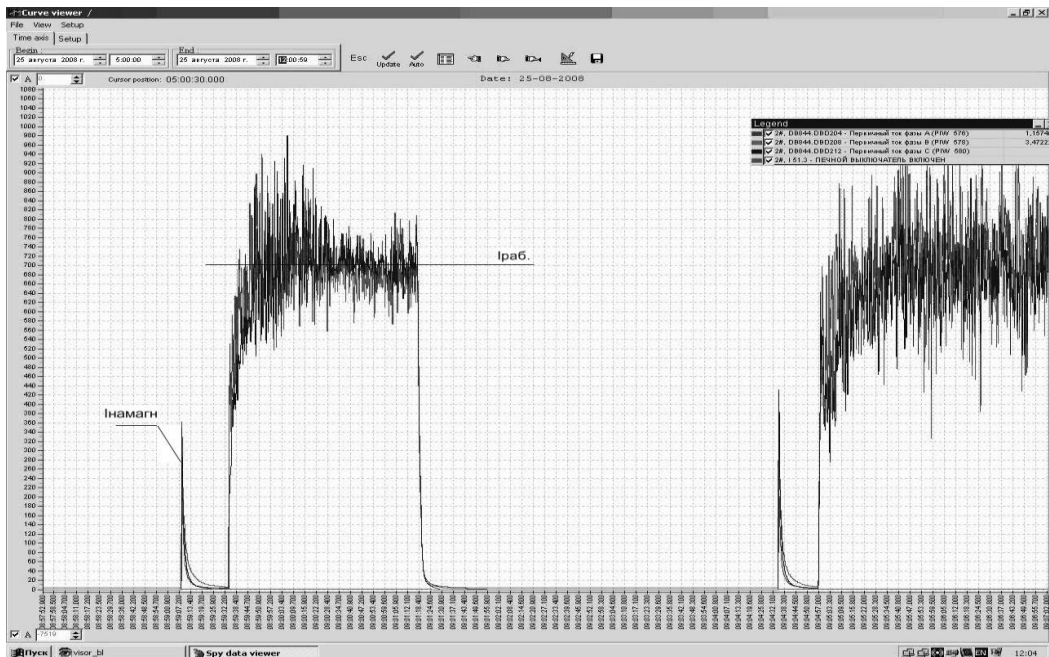


Рисунок 4

Целесообразность его применения наиболее высокая при частых коммутациях трансформатора, как на дуговых печах. Но, учитывая ничтожную стоимость данного устройства по сравнению со стоимостью силового оборудования, вполне возможно его применение на всех трансформаторах.

УДК 621.3

ЭЛЕКТРОПРИВОД ГЛАВНОГО ПОДЪЕМА С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

ПЕРЕПЕЛИЦЫН В.П., КИПЕРВАССЕР М.В.

В настоящее время в качестве электропривода главного подъема наиболее распространены системы тиристорного регулируемого привода со смешанным управлением асинхронного двигателя с фазным ротором (рисунок 1), где VS1-VS2 тиристоры в цепи статора, R_p – регулируемые сопротивления в цепи ротора [1].

Реже используются электроприводы с асинхронно-вентильным каскадом [ABK], где энергия скольжения цепи ротора возвращается обратно в сеть [2], но при этом не устраняются основные недостатки асинхронных двигателей с фазным ротором: ненадежный щеточный контакт, падение напряжения в щеточных контактах, более высокая стоимость двигателя с фазным ротором.

В настоящее время должно быть обеспечено широкое применение энергосберегающих технологий, снижающих нагрузку на окружающую среду.

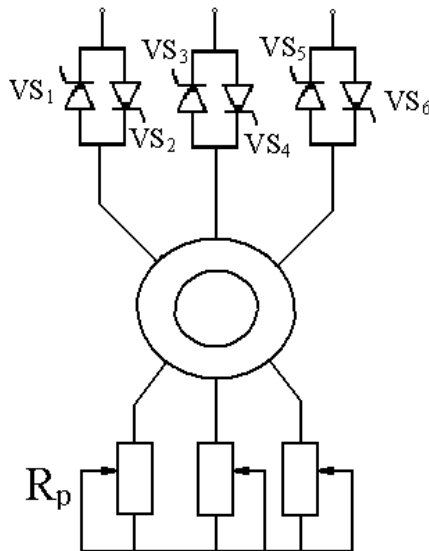


Рисунок 1 – Функциональная схема электропривода на базе асинхронного двигателя с фазным ротором

Для этой цели предложен на главном подъеме более перспективный преобразователь частоты [ПЧ-АД] с короткозамкнутым асинхронным двигателем, что обусловлено улучшенными эксплуатационными, надёжностными, массогабаритными и стоимостными показателями.

Токовая диаграмма подъемной машины типа 2У-4х1,8 с мощностью двигателя 400 кВт, грузоподъемностью сосуда 3 т, высотой подъема 400 м приведена на рисунке 2 [1].

Мощность, затрачиваемая в сопротивлении цепи ротора

$$P = 3 \cdot I_i^2 \cdot (R - r) + 3 \cdot \Delta U_{\dot{u}} \cdot I_i,$$

где I_i – ток ротора на ступени;

R – полное сопротивление цепи ротора;

r – сопротивление обмотки ротора; тогда $R_p = R - r$;

$\Delta U_{\dot{u}} = 1\hat{A}$ – падение напряжения в щеточном контакте.

Мощность, затрачиваемая в сопротивлении R_p при разгоне двигателя

$$P_{\delta\dot{a}\dot{c}} = \sum_{k=1}^{10} 3 \cdot I_i^2 \cdot (R - r) + 3 \cdot \Delta U_{\dot{u}} \cdot I_i.$$

Мощность, затрачиваемая в сопротивлении R_p при торможении

$$P_{\delta\dot{o}\dot{\delta}} = \sum_{k=11}^{19} 3 \cdot I_i^2 \cdot (R - r) + 3 \cdot \Delta U_{\dot{u}} \cdot I_i, \text{ кВт.}$$

Энергия, затрачиваемая на цикл

$$W'_{\delta} = \sum_{k=1}^{10} P_{\delta a \zeta} \cdot \Delta t_{\delta a \zeta} + \sum_{k=11}^{19} P_{\delta i \delta} \cdot \Delta t_{\delta i \delta}, \text{ кВт-ч,}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t_i}{3600},$$

где Δt_i – время работы на ступени.

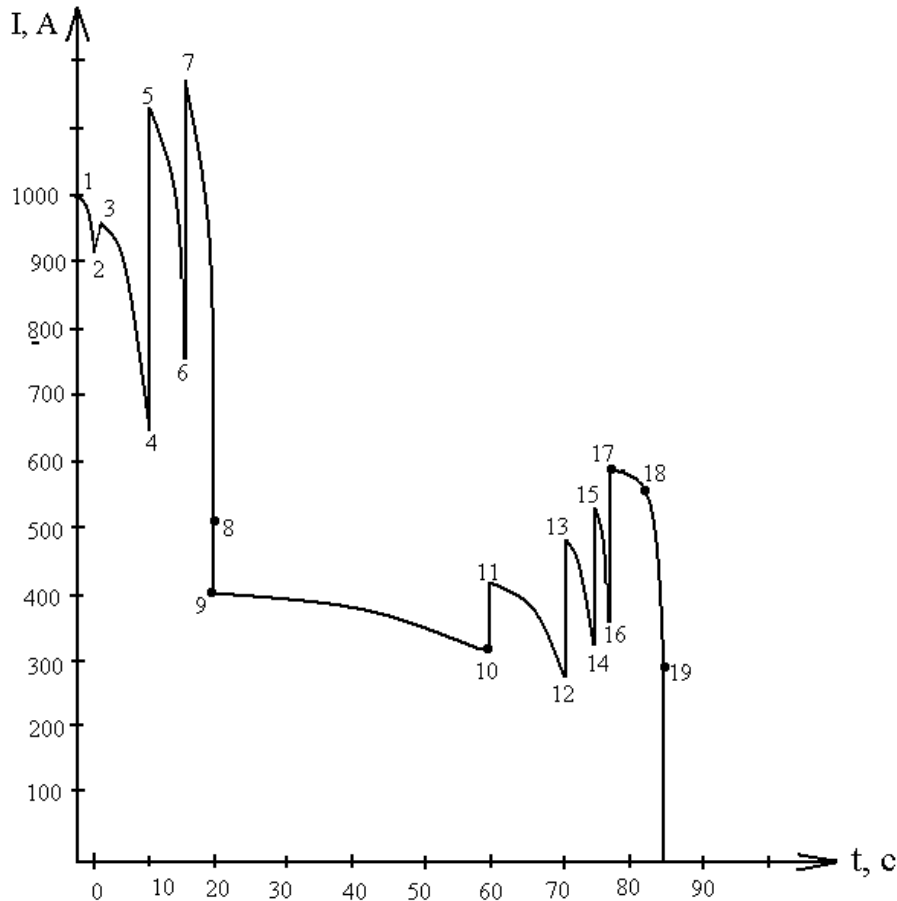


Рисунок 2 – Диаграмма токов ротора для ступеней пускового сопротивления

Энергия, рекупируемая при торможении

$$W_{\delta a \epsilon} = \sum_{k=11}^{19} P_{\delta i \delta} \cdot \Delta t_{\delta i \delta} \cdot \eta,$$

где η – КПД двигателя.

Экономия энергии при применении ПЧ-АД с короткозамкнутым асинхронным двигателем

$$W_{\delta} = W'_{\eta} + W_{\delta a \epsilon}.$$

Для 2^x скиповой машины при 4^x сменной работе годовая экономическая эффективность

$$W_{\bar{a}} = 2 \cdot W_{\bar{o}} \cdot N,$$

где N – число часов работы в год.

Годовая экономическая эффективность составляет 398265 кВт/ч.

Для обеспечения торможения АД преобразователь ПЧ переводится в режим рекуперативного торможения с отдачей энергии в сеть по схеме рисунка 3, где ПЧ содержит нереверсивный управляемый [УВ] выпрямитель на тиристорах $V1 \div V6$, токоограничивающие реакторы $L1$, сглаживающий реактор $L2$, автономный инвертор тока (АИТ), выполненный по мостовой схеме на запираемых тиристорах $V7 \div V12$, конденсаторы $C1$ и асинхронный двигатель [3].

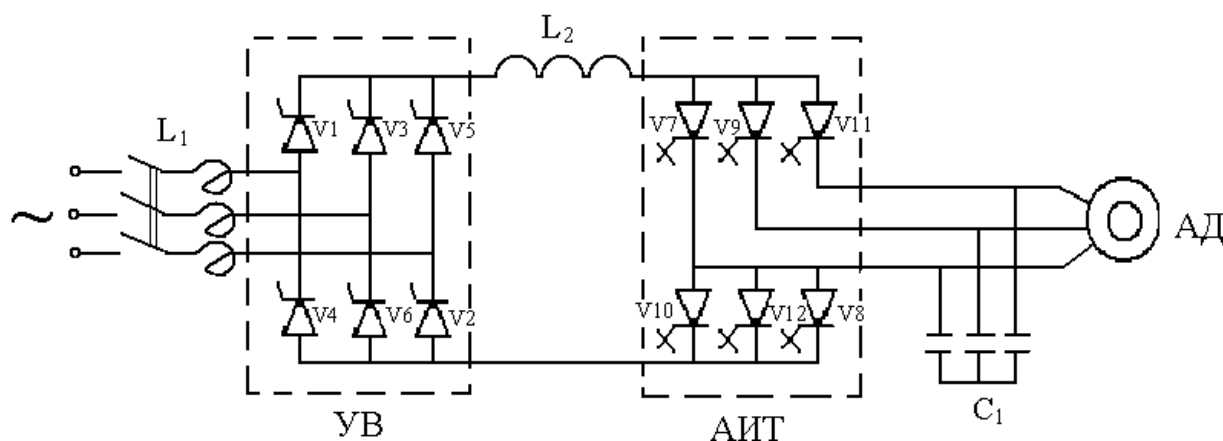


Рисунок 3 – Функциональная схема ПЧ-АД с АИТ

Достоинством схемы рисунка 3 является простота технической реализации режима рекуперации энергии привода в питающую сеть, осуществляемого по средствам управляемого УВ, работающего в режиме инвертора, отсутствие электролитического конденсатора с возможными перенапряжениями на нём, исключение проблемы подключения преобразователя длинным кабелем.

Библиографический список

1. Вавиловский В.И., Лившиц В.И., Яламутдинова Н.Е. и др. Экономическая эффективность применения параметрически регулируемого тиристорного асинхронного электропривода для шахтных подъемных установок Кузбасса. – Совершенствование технологии разработки крутых пластов Кузбасса, Прокопьевск, 1974. Выпуск 25.
2. Розанов Ю.К. Электронные устройства электромеханических систем. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 272 С.
3. Волков А.В., Косенко И.А. Асинхронный электропривод на основе автономного инвертора тока на запираемых тиристорах с прогнозирующим релейно-векторным регулированием статорного тока // Электротехника. 2008. № 10.

$$W_{\text{ДЫ}}(p) = \frac{U_{\text{ДЫ}}(p)}{U_{\Delta\text{Д}}(p)} = \frac{\hat{E}_{\Delta\text{И}} (\hat{O}_{\text{И}} \hat{O}_{\text{В}} p^2 + \hat{O}_{\text{И}} p + 1)}{\hat{E}_{\text{Д}} 4\hat{O}_{\text{И}} p} = \frac{\hat{E}_{\Delta\text{И}} \hat{O}_{\text{И}}}{4\hat{E}_{\text{Д}} \hat{O}_{\text{И}}} + \frac{\hat{E}_{\Delta\text{И}}}{4\hat{E}_{\text{Д}}} \frac{1}{\hat{O}_{\text{И}} p} + \frac{\hat{E}_{\Delta\text{И}}}{4\hat{E}_{\text{Д}}} \frac{\hat{O}_{\text{И}} \hat{O}_{\text{В}}}{\hat{O}_{\text{И}}} p; \quad (1)$$

$$W_{\text{РТ}}(p) = \frac{U_{\text{РТ}}(p)}{U_{\Delta\text{Т}}(p)} = W_{\text{РТ}\Delta}(p) W_{\text{РЭ}}(p) = \frac{R_{\text{Я}} K_{\text{Э}}}{K_{\text{ДТ}} T_{\text{МР}}} * W_{\text{РЭ}}(p); \quad (2)$$

$$W_{\text{РН}}(p) = \frac{U_{\text{РН}}(p)}{U_{\text{РЭ}}(p) - U_{\text{ДН}}(p)} = K_{\text{РН}}, \quad (3)$$

остальные обозначения будут раскрыты в ходе изложения содержания статьи.

На основе структурной схемы на рисунке 1 создадим в среде моделирования Matlab-Simulink модель объекта системы управления используя стандартные средства и приемы структурного моделирования. Иной подход используем при реализации модели системы управления. Прежде всего создаем script M-File (файла сценария) с именем Staty.m для начальной инициализации системы. Этот файл исполняется один раз за весь цикл работы системы. Программа алгоритма управления реализована с помощью Embedded Matlab Function (встроенной в Simulink функцией) с именем Upravl, предназначенной для непосредственного программирования в Simulink'е на языках Matlab и C. Однако Embedded функции недоступны данные начальной инициализации script файла Staty.m. Их передачу из script файла Staty.m в Embedded функцию Upravl удалось осуществить через блок Constant библиотеки блоков Simulink; а организовав массив par в script файле Staty.m.

Встроенная (Embedded) функция не поддерживает глобальные переменные, ей недоступны данные из script файла и рабочего пространства, кроме того она не имеет механизма накопления и хранения данных, которые необходимы для использования в следующих тактах дискретизации микроконтроллерной системы управления. Для решения этой проблемы использована возможность встроенной функции через механизм внешних вызовов с помощью специальной функции eml.extrinsic обмениваться данными с Matlab Function, которая поддерживает глобальные переменные и в состоянии использовать переменные из script файла, в котором эти переменные также объявлены глобальными. Для этой цели создана Matlab Function glodE.m, которая выполняет поддержку глобальных переменных и некоторые операции с этими глобальными переменными.

Благодаря вышеуказанному приему проблему создания программы управления удалось полностью решить в системе программирования Matlab без привлечения дополнительных блоков библиотеки Simulink'а, которая после отладки алгоритма без особого труда может быть конвертирована на язык C конкретного микроконтроллера.

Перейдем к разработке алгоритма управления. Прежде всего на основании структурной схемы на рисунке 1 составим уравнение наблюдателя ЭДС:

$$U_{\text{Э}}(p) = \frac{K_{\text{Э}}}{K_{\text{ДН}}} U_{\text{ДН}}(p) - \frac{K_{\text{Э}}R_{\text{я}}}{K_{\text{ДТ}}} U_{\text{ДТ}}(p) - \frac{K_{\text{Э}}R_{\text{я}}}{K_{\text{ДТ}}} U_{\text{ДТ}}(p) \frac{T_{\text{я}}p}{qT_{\text{я}}p+1}, \quad (4)$$

где $U_{\text{Э}}$, $U_{\text{ДН}}$, $U_{\text{ДТ}}$ – соответственно выходные величины наблюдателя ЭДС, датчика напряжения и датчика тока;

$K_{\text{Э}}$, $K_{\text{ДН}}$, $K_{\text{ДТ}}$ – соответственно коэффициенты обратных связей наблюдателя ЭДС, контуров напряжения и тока;

$R_{\text{я}}$, $T_{\text{я}}$, q – соответственно активное сопротивление и постоянная времени якорной цепи электродвигателя, коэффициент постоянной фильтра реальной производной тока якоря.

Последнее слагаемое уравнения (4) представляет собой производную от входного воздействия – сигнала $U_{\text{ДТ}}$, снимаемого с датчика тока. При помехах импульсного характера производная от этих помех терпит разрыв второго рода, что приводит к резкому усилению помех и снижению точности дифференцирования вплоть до потери устойчивости системы. Одним из способов исключения операции прямого дифференцирования сигнала датчика является преобразование уравнения к виду, при котором его правая часть не содержит производной. Для выполнения такого преобразования числитель последнего слагаемого разделим на знаменатель. После очевидных преобразований уравнение (4) приведем к виду:

$$U_{\text{Э}}(p) = \frac{K_{\text{Э}}}{K_{\text{ДН}}} U_{\text{ДН}}(p) - \frac{K_{\text{Э}}R_{\text{я}}}{K_{\text{ДТ}}} U_{\text{ДТ}}(p) - \frac{K_{\text{Э}}R_{\text{я}}}{K_{\text{ДТ}}q} U_{\text{ДТ}}(p) \left(1 - \frac{1}{qT_{\text{я}}p+1} \right), \quad (5)$$

а вводя промежуточные переменные $U_{\text{ЭПР1}}$ и $U_{\text{ЭПР2}}$ получим:

$$U_{\text{Э}}(p) = \frac{K_{\text{Э}}}{K_{\text{ДН}}} U_{\text{ДН}}(p) - \frac{K_{\text{Э}}R_{\text{я}}}{K_{\text{ДТ}}} U_{\text{ДТ}}(p) - U_{\text{ЭПР1}}(p) + U_{\text{ЭПР2}}(p), \quad (6)$$

где

$$U_{\text{ЭПР1}} = \frac{K_{\text{Э}}R_{\text{я}}}{K_{\text{ДТ}}q} U_{\text{ДТ}}, \quad (7)$$

$$U_{\text{ЭПР2}}(p) = \frac{K_{\text{Э}}R_{\text{я}}}{K_{\text{ДТ}}q} U_{\text{ДТ}}(p) \frac{1}{qT_{\text{я}}p+1}. \quad (8)$$

Последнему уравнению придадим вид:

$$U_{\text{ЭПР2}}(p)(qT_{\text{я}}p+1) = \frac{K_{\text{Э}}R_{\text{я}}}{K_{\text{ДТ}}q} U_{\text{ДТ}}(p),$$

или во временной области:

$$\frac{dU_{\text{ЭПР2}}}{dt} + \frac{U_{\text{ЭПР2}}}{qT_{\text{я}}} = \frac{K_{\text{Э}}R_{\text{я}}}{K_{\text{ДТ}}q^2T_{\text{я}}} U_{\text{ДТ}}.$$

Переходя от производной к отношению приращений и выполнив очевидные преобразования получим следующее рекуррентное соотношение:

$$U_{\text{ЭПР2ТЕК}} = \left(1 - \frac{T}{qT_{\text{я}}}\right) U_{\text{ЭПР2ПРЕД}} + \frac{T}{qT_{\text{я}}} \frac{K_{\text{Э}}R_{\text{я}}}{K_{\text{ДТ}}q} U_{\text{ДТ}}, \quad (9)$$

где T – период дискретизации,

$U_{\text{ЭПР2ТЕК}}$, $U_{\text{ЭПР2ПРЕД}}$ – соответственно значение промежуточной переменной $U_{\text{ЭПР2}}$ в текущем и предыдущем периодах дискретизации.

Выполним оптимизацию алгоритма наблюдателя ЭДС по времени и занимаемой памяти. Для этого вычисление выражений, связанных только с постоянными величинами и которые вычисляются только один раз за все время выполнения программы, вынесем за пределы рабочего цикла и поместим их в блок начальной инициализации в памяти программ микроконтроллера, в результате объем вычислений в цикле существенно сокращается и освобождается оперативная память.

Введем обозначения для константных выражений

$$K_{\text{ЭДН}} = \frac{K_{\text{Э}}}{K_{\text{ДН}}}; \quad K_{\text{ЭДТ}} = \frac{K_{\text{Э}}R_{\text{я}}}{K_{\text{ДТ}}}; \quad K_{\text{ЭПР1}} = \frac{K_{\text{ЭДТ}}}{q}; \quad K_{\text{ЭТq}} = 1 - \frac{T}{qT_{\text{я}}}; \quad K_{\text{ЭПР1q}} = \frac{TK_{\text{ЭПР1}}}{qT_{\text{я}}}$$

и подставим их в соотношения (6), (7) и (9). В результате получим:

$$U_{\text{Э}} = K_{\text{ЭДН}}U_{\text{ДН}} - K_{\text{ЭДТ}}U_{\text{ДТ}} - U_{\text{ЭПР1}} + U_{\text{ЭПР2}}, \quad (10)$$

$$U_{\text{ЭПР1}} = K_{\text{ЭПР1}}U_{\text{ДТ}}, \quad (11)$$

$$U_{\text{ЭПР2ТЕК}} = K_{\text{ЭТq}}U_{\text{ЭПР2ПРЕД}} + K_{\text{ЭПР1q}}U_{\text{ДТ}}. \quad (12)$$

Уравнения (10), (11) и (12) представляют собой алгоритм наблюдателя ЭДС. Перейдем к разработке алгоритма регулятора ПИД регулятора ЭДС в соответствии с передаточной функцией (1), которую разрешим относительно выходного сигнала $U_{\text{РЭ}}$:

$$U_{\text{РЭ}}(p) = \frac{K_{\text{ДН}}}{K_{\text{Э}}} \frac{T_{\text{М}}}{4T_{\text{П}}} U_{\Delta\text{Э}}(p) + \frac{K_{\text{ДН}}}{K_{\text{Э}}} \frac{1}{4T_{\text{ПР}}} U_{\Delta\text{Э}}(p) + \frac{K_{\text{ДН}}}{K_{\text{Э}}} \frac{T_{\text{М}}T_{\text{я}}}{4T_{\text{П}}} pU_{\Delta\text{Э}}(p).$$

Уравнение регулятора ЭДС представим в виде суммы:

$$U_{\text{РЭ}} = U_{\text{РЭИ}} + U_{\text{РЭД}} + U_{\text{РЭП}}, \quad (13)$$

где $U_{\text{РЭИ}}(p) = \frac{K_{\text{ДН}}}{K_{\text{Э}}} \frac{1}{4T_{\text{ПР}}} U_{\Delta\text{Э}}(p)$ – интегрирующая, (14)

$$U_{\text{РЭД}}(p) = \frac{K_{\text{ДН}}}{K_{\text{Э}}} \frac{T_{\text{М}}T_{\text{я}}}{4T_{\text{П}}} pU_{\Delta\text{Э}}(p) \quad \text{– дифференцирующая и} \quad (15)$$

$$U_{\text{РЭП}} = \frac{K_{\text{ДН}}}{K_{\text{Э}}} \frac{T_{\text{М}}}{4T_{\text{П}}} U_{\Delta\text{Э}} \quad \text{– пропорциональная составляющие регулятора.} \quad (16)$$

Переведем уравнение (14) во временную область и заменив производную от переменной $U_{РЭИ}$ отношением приращений на периоде дискретизации, получим алгоритм Эйлера для интегрирующей составляющей регулятора ЭДС:

$$U_{РЭИТЕК} = U_{РЭИПРЕД} + \frac{K_{ДН}}{K_{Э}} \frac{T}{4T_{П}} U_{\Delta Э}. \quad (17)$$

Преобразуем дифференцирующую составляющую (15) к виду без явного дифференцирования. Для этого операцию идеального дифференцирования дополним фильтром:

$$U_{РЭД}(p) = \frac{T_{РЕД}p}{qT_{РЕД} + 1} U_{\Delta Э}(p), \quad (18)$$

$$\text{где } T_{РЭД} = \frac{K_{ДН}}{K_{Э}} \frac{T_M T_{Я}}{4T_{П}}, \quad (19)$$

а затем числитель правой части уравнения (18) разделим на знаменатель. После очевидных преобразований уравнение (18) приведем к виду:

$$U_{РЭД}(p) = \frac{1}{q} \left(1 - \frac{1}{qT_{РЕД} + 1} \right) U_{\Delta Э}(p),$$

а вводя промежуточные переменные будем иметь:

$$U_{РЭД}(p) = U_{РЭПР1} + U_{РЭПР2}, \quad (20)$$

$$\text{где } U_{РЭПР1} = \frac{1}{q} U_{\Delta Э}(p), \quad (21)$$

$$U_{РЭПР2}(p) = \frac{1}{q} \frac{1}{qT_{РЕД} + 1} U_{\Delta Э}(p). \quad (22)$$

К уравнению (22) применим преобразования аналогичные преобразованиям, выполненным по отношению к уравнению (8). В результате получим:

$$U_{РЭПР2ТЕК} = \left(1 - \frac{T}{qT_{РЭД}} \right) U_{РЭПР2ПРЕД} + \frac{T}{q^2 T_{РЭД}} U_{\Delta Э}, \quad (23)$$

Введем обозначения для константных выражений

$$K_{РЭП} = \frac{K_{ДН}}{K_{Э}} \frac{T_M}{4T_{П}}; \quad K_{РЭИ} = \frac{K_{ДН}}{K_{Э}} \frac{T}{4T_{П}}; \quad K_{РЭТq} = 1 - \frac{T}{qT_{РЭД}}; \quad K_{РЭПР1q} = \frac{T}{q^2 T_{РЭД}}$$

и подставим их соответственно в соотношения (16), (17) и (23). В результате получим:

$$U_{РЭП} = K_{РЭП} U_{\Delta Э}, \quad (24)$$

$$U_{РЭИТЕК} = U_{РЭИПРЕд} + K_{РЭИ} U_{\Delta Э} \quad (25)$$

$$U_{РЭПР2ТЕК} = K_{РЭТq} U_{РЭПР2ПРЕд} + K_{РЭПР1q} U_{\Delta Э} \quad (26)$$

Кроме того из рисунка 1 имеем:

$$U_{\Delta Э} = U_{ЗИ} - U_{Э} \quad (27)$$

Соотношения (13), (24), (25), (26) и (27) определяют алгоритм регулятора ЭДС.

На основании равенства (3) запишем алгоритм пропорционального регулятора напряжения генератора:

$$U_{РН} = K_{РН} (U_{РЭ} - U_{ДН}) \quad (28)$$

Таким образом, мы определились с алгоритмами наблюдателя и регулятора ЭДС, регулятора напряжения генератора, обеспечив тем самым основной режим работы системы – управление ЭДС (скоростью) электродвигателя. При переходе в режим ограничения полного тока электродвигателя (согласно рисунку 1) ключ К размыкает обратную связь по ЭДС, причем выход регулятора ЭДС остается подключенным ко входу контура напряжения генератора, а ко входу переключателем П подключается модуль $W_{РТ\Delta}$, который совместно с регулятором ЭДС выполняет функции регулятора тока. Алгоритм регулятора ЭДС, уравнения (13), (24), (25), (26), за исключением равенства (27), являются составной частью регулятора тока.

Чтобы получить полный алгоритм регулятора тока в соответствии с рисунком 1 и соотношением (3) и запишем его в следующем виде:

$$U_{\Delta Т} = U_{ЗТ} - U_{Т}; \quad (29)$$

$$U_{РТИТЕК} = U_{РТИПРЕд} + K_{РТИ} U_{\Delta Э}, \quad (30)$$

где $K_{РТИ} = \frac{R_{я} K_{ЭТ}}{K_{ДТ} T_{М}}$. (31)

Таким образом, алгоритм управления системой Г-Д с переключаемыми контурами ЭДС и тока шахтной по управления для реализации в микроконтроллерной системы в составе наблюдателя ЭДС и регуляторов тока и ЭДС с минимизацией количества постоянных коэффициентов решена в полном объеме.

Библиографический список

1. Борщинский М.Ю. Система управления с переключаемыми контурами электропривода шахтной подъемной установки [Текст] / М.Ю. Борщинский, П.Н. Кунинин. // В сб.: «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве», VII Всероссийская конференция, 2009 г.

МЕТОДИКА АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

КИПЕРВАССЕР М.В., ИНЖЕЛЕВСКАЯ О.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Работа узлов и агрегатов механического оборудования технологических линий заводов черной металлургии сопровождается воздействием значительных механических нагрузок. В большинстве случаев эти нагрузки являются расчетными, но даже в этом случае их постоянное воздействие приводит к постепенному износу и в конечном итоге выходу механизма из строя по тем или иным причинам. Сами эти причины различны, индивидуальны для каждого типа механизма и весьма разнообразны. Сложность и тяжесть повреждения определяет продолжительность простоя оборудования, затраты на ремонт, размер ущерба. Важно отметить, что во многих случаях технологические механизмы в течение рабочих периодов работают без наблюдения персонала совсем, либо его количество мало по сравнению с количеством обслуживаемого оборудования. По этой причине сами аварии выявляются несвоевременно, а их характер определяется зачастую неверно, что увеличивает потери производства. В этой связи своевременное и точное определение места и характера повреждения технологического оборудования являются актуальной задачей. В условиях отсутствия постоянного обслуживающего персонала, для определения неисправностей и аварийных ситуаций важно задействовать все имеющиеся возможности, в том числе и косвенные.

Рассмотрим работу одного из основных механизмов, обеспечивающих технологический процесс доменной печи – скипового подъемника. Этим термином определяется довольно сложный комплекс узлов и агрегатов:

- коренная часть, включающая в себя барабан, тормозные устройства, редуктор;
- подъемные сосуды (скипы) с прицепными устройствами и канатами;
- загрузочные устройства (дозаторы), наклонную эстакаду с направляющими проводниками, разгрузочные «кривые»;
- электрический двухдвигательный привод постоянного тока со схемой управления.

В течение технологической смены механизм не обслуживается и не наблюдается технологическим персоналом за исключением оператора, наблюдающего за всем комплексом механизмов доменной печи с пульта управления. Общая детализация элементов механической части скипового подъема содержит около 1 (одной) тысячи позиций. Каждая из деталей мо-

жет стать причиной поломки или аварии с теми или иными последствиями. Сама поломка может произойти на любом участке движения подземных сосудов (на эстакаде, при выгрузке или загрузке), в любом положении барабана, в любом режиме работы электропривода (трогание, разгон, установившееся движение, торможение, движение в разгрузочных кривых). В зависимости от этих условий развитие аварии и тяжесть последствий будут различными. В этой связи своевременное обнаружение аварийного режима, точная идентификация характера повреждения любыми доступными способами является актуальной задачей.

На практике для выполнения функций контроля аварийных режимов обычно выполняют разного рода датчики: переподъема 1-го и 2-го положения, зависания спускаемого сосуда, массы груза в скипе, износа тормозных колодок и пр. общее количество датчиков на скиповом подъеме достигает 20. С одной стороны, подобное количество датчиков весьма усложняет принципиальную и монтажную схемы электрооборудования. Сами датчики, не очень надежные конструктивно (конечные выключатели), располагаются в труднодоступных, иногда опасных зонах (скиповая яма, колошник доменной печи и пр.) и также могут служить причиной отказа. С другой стороны, сравнительно с количеством возможных причин неисправностей и отказов, такое количество регистраторов явно не достаточно. Для сравнения: число аварийных режимов только в самом электроприводе, который контролирует схема защиты электропривода Simoreg, составляет более 60-ти. Причем в большинстве случаев для регистрации аварийной ситуации используется информация всего о 4 параметрах электропривода: токе якорной цепи двигателей, тока обмоток возбуждения, напряжения якоря двигателей и их частоте вращения. Было бы весьма удобно распространить действие схемы защиты и на механическую часть скипового подъема.

Как уже говорилось выше, в качестве привода механизма используется два двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Известно, у электродвигателя такого типа величина механического момента на валу описывается выражением:

$$\dot{I} = \tilde{n}_1 \cdot \hat{\Phi} \cdot I_a, \quad (1)$$

где c_m – конструктивная постоянная;

Φ – магнитный поток, создаваемый в статоре;

I_a – ток якоря двигателя.

Магнитный поток в процессе работы не регулируется и остается практически постоянным. Следовательно, величина момента на валу прямо пропорциональна току якорной цепи, и, контролируя последний, можно точно судить о механических нагрузках в приводе подъема.

Механический момент на валу барабана подъема, как известно, складывается из двух основных составляющих: момента статического и момента динамического.

Статический момент определяется усилиями натяжения канатов и

описывается выражением:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{\text{н\ddot{o}d\ddot{o}}} &= R_{\acute{a}} \cdot F_{\acute{a}\ddot{o}1} - R_{\acute{a}} F_{\acute{a}\ddot{o}2} = R_{\acute{a}} \cdot \left[(G_{\text{н\ddot{e}1}} + G_{\text{а\ddot{o}}} + l_1 p g) - (G_{\text{н\ddot{e}2}} + l_2 p g) \right] \cdot \sin \alpha = \\ &= R_{\acute{a}} \cdot \left[G_{\text{а\ddot{o}}} + l_1 p - l_2 p \right] \cdot \sin \alpha \end{aligned} \quad (2)$$

где $R_{\text{б}}$ – радиус барабана;

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2;$$

$G_{\text{ск1}}, G_{\text{ск2}}$ – вес скипов (одинаков);

$G_{\text{гр}}$ – вес груза в скипе;

l_1, l_2 – длины подъемных канатов;

p – удельный вес 1 метра подъемного каната;

α – угол наклона эстакады (подъемной).

Ввиду значительного удельного веса подъемных канатов, его воздействие приходится учитывать. Заметим, что длина и вес канатов переменны и зависят от положения сосудов (угла поворота барабана).

Динамический момент возникает при разгоне и замедлении привода. В общем случае он описывается выражением:

$$\dot{I}_{\text{а\ddot{e}i}} = J_{\text{i}\delta} \frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{dt} \cdot \left[R_{\delta}^2 \cdot (2m_{\text{н\ddot{e}}} + m_{\text{а\ddot{o}}} + (l_1 + l_2)p) + J_{\text{а\ddot{a}\ddot{o}}} + J_{\text{д\ddot{a}\text{а}}} + 2J_{\text{а\ddot{a}}} + 2J_{\text{ш\ddot{e}}} \right], \quad (3)$$

где $R_{\text{б}}$ – радиус барабана;

$m_{\text{гр}}, m_{\text{ск}}$ – массы груза и скипов;

l_1, l_2 – длины канатов;

p – удельная масса канатов;

$J_{\text{бар}}, J_{\text{ред}}, J_{\text{дв}}, J_{\text{шк}}$ – приведенные к валу барабана моменты инерции барабана, редуктора, двигателей и шкивов.

$\frac{d\omega}{dt}$ – угловое ускорение (замедление) привода.

Полный механический момент на валу барабана в любой момент времени является суммой статической и динамической составляющей:

$$M_{\Sigma} = M_{\text{стат}} + M_{\text{дин.}}$$

Анализируя величины, определяющие значение механического момента можно отметить, что одна часть из них является постоянной, а другая – переменной.

Размеры барабана, масса скипов и удельный вес канатов, угол наклона эстакады, моменты инерции барабана, редуктора, двигателей и шкивов являются неизменными.

Длины канатов, масса груза в скипе, динамические параметры привода (разгон, замедление) являются переменными величинами.

Масса груза в скипе зависит от состава и количества шихты. Перед каждым подъемом масса груза с достаточной точностью определяется приборами замера веса шихты, установленными на дозирующих устройствах.

Длина канатов определяется углом поворота барабана. Зная угол пово-

рота, можно точно определить положение скипов и длины канатов.

Динамические параметры привода (величины разгона и замедления) зависят от его настроек и характера тахограммы. Имея информацию о запрограммированной тахограмме и положении сосудов, можно судить о величине ускорения (замедления) привода в каждый момент времени.

Итого, механический момент на валу электродвигателей привода подъема зависит от 11 (одиннадцати) величин, из которых 7 (семь) являются постоянными, 4 (четыре) – переменными, но измеряемыми с достаточной точностью.

Программные и вычислительные возможности процессора электропривода Simogeg позволяют хранить в памяти диаграмму тока якоря для штатной тахограммы работы электропривода при отсутствии аварийных режимов и соответствующим образом корректировать ее при изменении веса груза и динамики привода.

Кроме того, схема привода естественным образом контролирует реальные значения тока якорной цепи в реальном масштабе времени. Данные о величине тока используются для работы схемы управления и защиты электропривода.

Таким образом, при соответствующих настройках, схема привода позволяет контролировать ток якорной цепи, сравнивать его с нормальными значениями и, при наличии существенных расхождений, вызванных аварийными режимами механической части, выдавать сигнал остановки механизма.

При выполнении дополнительных исследований, возможна идентификация неисправностей механической части агрегата, так как характер отклонения тока от нормальных значений будет сильно зависеть от типа неисправности вышеупомянутой механической части.

УДК 681.5

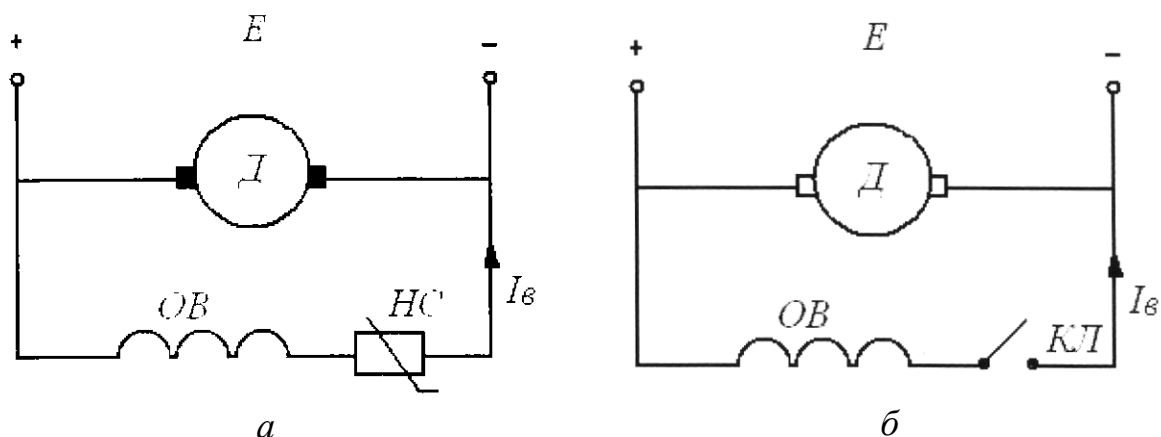
ТПЧ-АД В АВТОНОМНЫХ СИСТЕМАХ

ПЕРЕПЕЛИЦЫН В.П., КИПЕРВАССЕР М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

В автономных объектах в качестве бортовой сети применяются аккумуляторные батареи, напряжение на которых со временем падает, а в качестве приводных двигателей механизмов используются двигатели постоянного тока, недостатки которых общеизвестны: низкая надежность щеточного узла с образованием искры, что во многих случаях недопустимо, плохие массогабаритные показатели, высокая стоимость. Для сохранения постоянной производительности механизмов необходимо поддерживать обороты $n = \text{const}$, что достигается регулированием тока возбуждения 1В [1] (рисунок 1) с помощью нелинейного сопротивления [НС] (тирвитовые шайбы), включен-

ного в цепь обмотки возбуждения [ОВ] (рисунок 1, а) или импульсное регулирование тока возбуждения с помощью ключа КЛ (рисунок 1, б).



а – с помощью НС; б – импульсное регулирование

Рисунок 1 – Регулирование IB

В первом случае точность поддержания оборотов невелика (до 7 %), во втором случае необходим датчик скорости для получения высокой точности.

При минимальном напряжении E_{\min} надо обеспечить необходимые для механизма момент и мощность, при увеличении напряжения до E_{\max} эти величины возрастают в k раз, где $k = \frac{E_{\max}}{E_{\min}}$ (1), двигатель получается завышен-

ным по мощности и моменту и, следовательно, больше габариты и вес, что неприемлемо в ограниченном объеме, что ухудшает вибро-акустические характеристики (ВАХ).

Бурное развитие силовой полупроводниковой техники и микропроцессорных устройств управления позволяет создать надежные контактные транзисторные преобразователи постоянного тока в переменный для питания асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (ТПЧ-АД), имеющих высокую надежность, малую стоимость, вес и габариты (меньше на две оси, чем у двигателей постоянного тока), что также улучшает ВАХ.

Анализ существующих систем ТПЧ-АД [2] показывает, что наилучшей является схема (рисунок 2) без дополнительного звена постоянного тока с наиболее часто встречающимся постоянным напряжением 175 – 320 В, что позволяет применять АД со стандартным напряжением $U_B = 127$ В.

Выходное напряжение U_B в общем случае описывается непрерывной функцией (синусоидой)

$$U_B = E_X(j) \sin \int_0^t \omega_B(\alpha) dt + \Delta, \quad (2)$$

где α и j – параметры управления частотой и напряжением, рассматриваются как независимые функции, а частота $\omega_B(\alpha)$ и параметр напряжения x_j , при управлении – непрерывные функции времени $\omega_B[\alpha(t)]$ и $\omega[j(t)]$, Δ – искажение квантования.

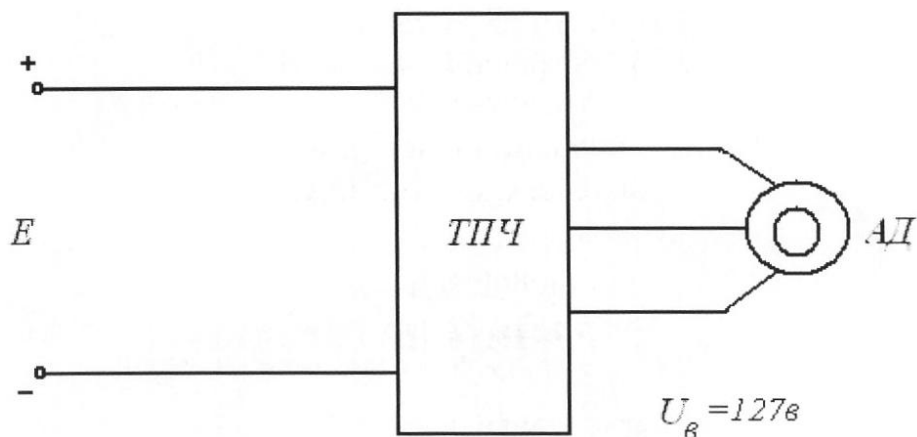


Рисунок 2 – Схема ТПЧ-АД

При постоянной угловой частоте сети переменного тока $\omega = \text{const}$ уравнение (2) упрощается $U_B = E_x(j)\sin\omega t + \Delta$, где $E_{\max} \geq E \geq E_{\min}$.

Если необходимо U_B отличное от получаемого схемой, представленной на рисунке 2, то для двигателей небольшой мощности возможно применение схемы по рисунку 3, где постоянное напряжение E подается на вход высокочастотного инвертора (ВИ) на транзисторах IGBT, который работает на высокой частоте. Выходное напряжение BV преобразуется к необходимому уровню трансформатором ТР. При работе ТР на частоте до 200 кГц размер сердечника ТР значительно уменьшается.

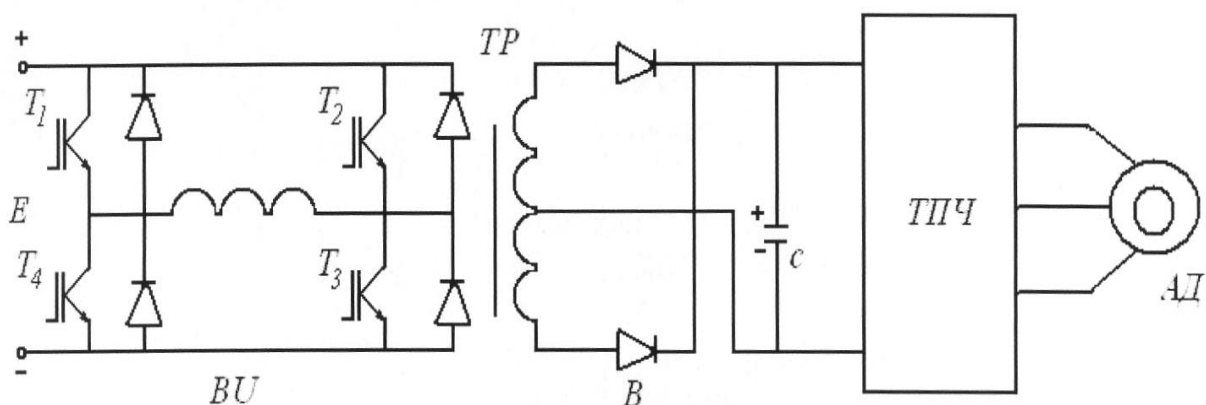
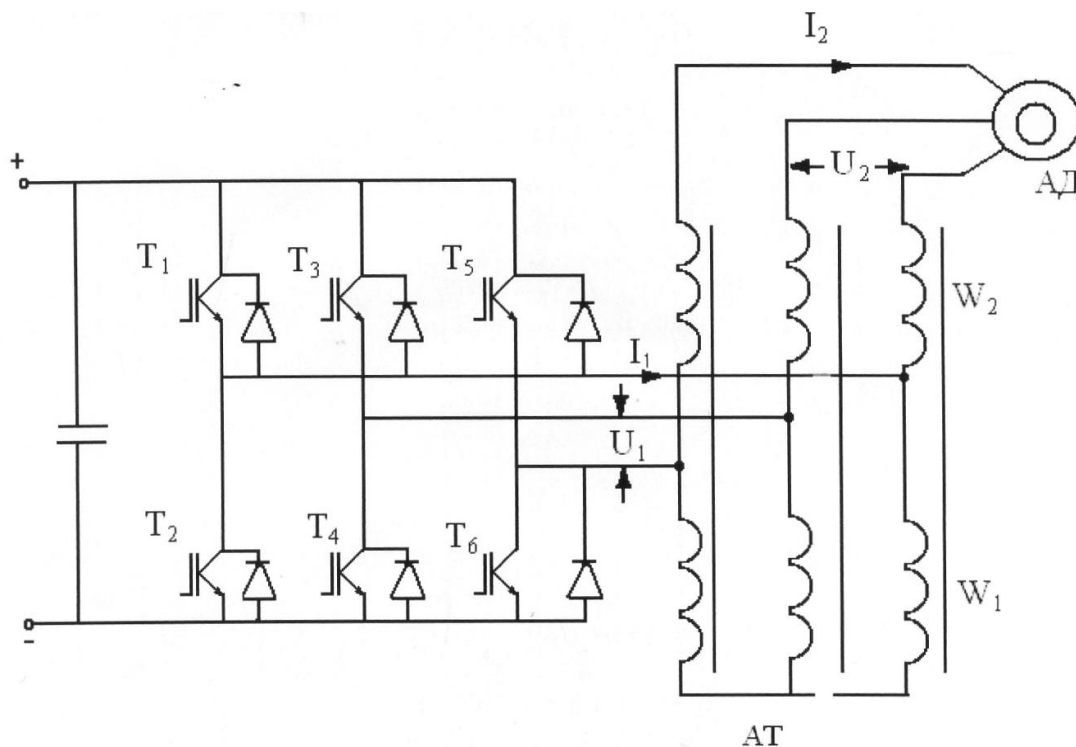


Рисунок 3 – Схема ТПЧ-АД с промежуточным ТР

Высокочастотное напряжение ТР выпрямляется выпрямителем B и подается на ТПЧ, питающий АД.

В высоковольтных преобразователях большой мощности на выходе преобразователя ставят повышающий автотрансформатор АТ (рисунок 4), который используется также в качестве фильтра [3].



U_1, I_1 – выходное напряжение и ток преобразователя частоты или входные величины АТ; U_2, I_2 – выходное напряжение и ток АТ

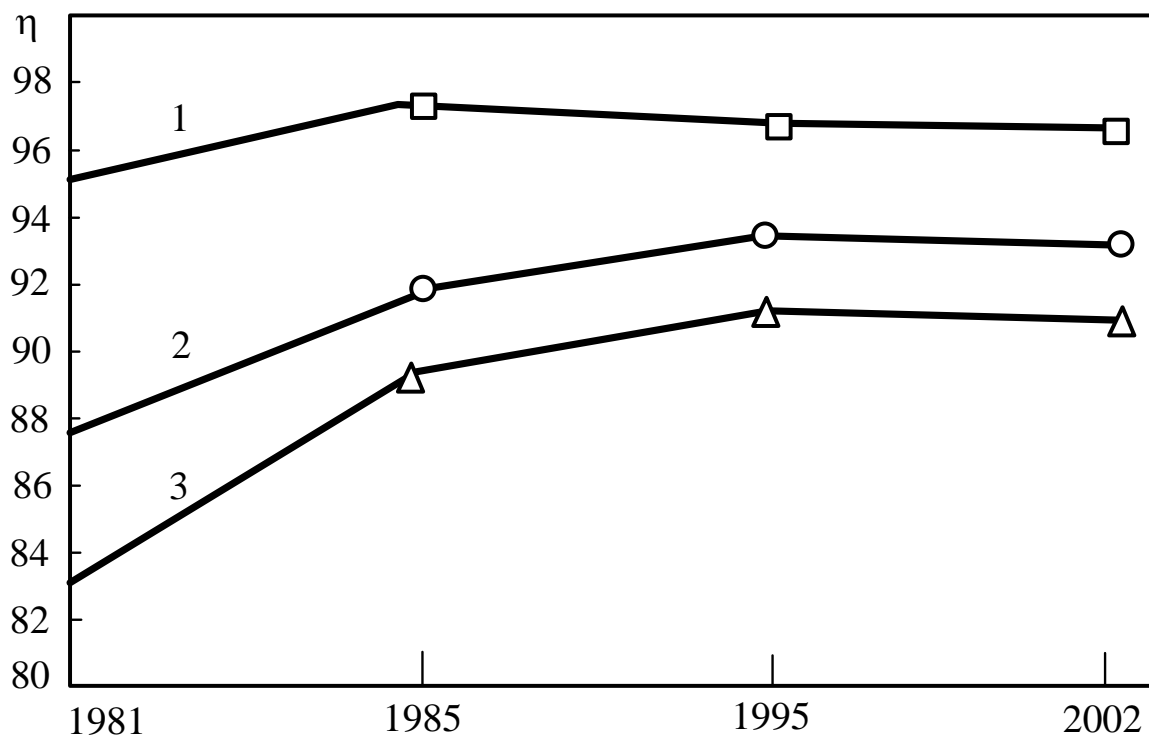
Рисунок 4 – Схема ТПЧ-АД с автотрансформатором

Отношение $\frac{S_{\text{погр}}}{S_{\text{т\delta}}} = 1 - \frac{1}{\hat{E}_{\text{а\delta}}}$, где $\hat{E}_{\text{а\delta}} = \frac{U_2}{U_1}$ – коэффициент АТ по напряжению $S_{\text{т\delta}} = U_2 I_2$ – проходная мощность АТ,

$$S_{\text{погр}} = U_2 I_2 \left(1 - \frac{1}{K_a} \right) = S_{\text{т\delta}} \left(1 - \frac{1}{\hat{E}_a} \right) \text{ – расчетная мощность АТ.}$$

Применение АТ даст значительную экономию активных материалов при значении $K_{\text{ат}} = 1,25 - 2,0$.

Даже при неоднократном преобразовании энергии общий η (коэффициент полезного действия) выше [4], чем двигателей постоянного тока, что объясняется высоким f] преобразователей (рисунок 5), достигающим в последнее время $\eta = 0,98$.



1 – КПД привода; 2 – КПД двигателя; 3 – общий КПД

Рисунок 5 – КПД привода переменного тока

Библиографический список

1. Перепелицын В.П., Гачик И.А., Смирнов В.К. Система стабилизации частоты вращения двигателя постоянного тока. Управление, электропривод и электропитание автоматизированных установок: Сборник - Томск, изд-во ТГУ, 1979, с.34-40.
2. Перепелицын В.П., Кипервассер М.В. Сравнение различных схем ТПЧ-АД. Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: Сборник. - Новокузнецк. Изд-во СибГИУ, 2007, с.365-368.
3. Иванов А.Г., Донской Н.В., Ушаков И.И. высоковольтные автотрансформаторы преобразователя частоты для электроприводов // Электротехника 2008, № 10.
4. Каталог фирмы АВВ. Низковольтный привод переменного тока «DRIVE». Каталог ACS 800, 2004.

О ПОСТРОЕНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ РЕЛЬСОВОГО ПРОКАТА

Кулаков С.М., Трофимов В.Б.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк*

В автоматизированной системе неразрушающего контроля качества рельсов Новокузнецкого и Нижнетагильского металлургических комбинатов на сегодняшний день выполняются только ультразвуковой контроль внутренних дефектов рельсов, автоматическая оценка их прямолинейности и полностью отсутствует автоматическое распознавание поверхностных дефектов, которое осуществляется с помощью визуального осмотра поверхности рельсов операторами-контролерами (рисунок 1).

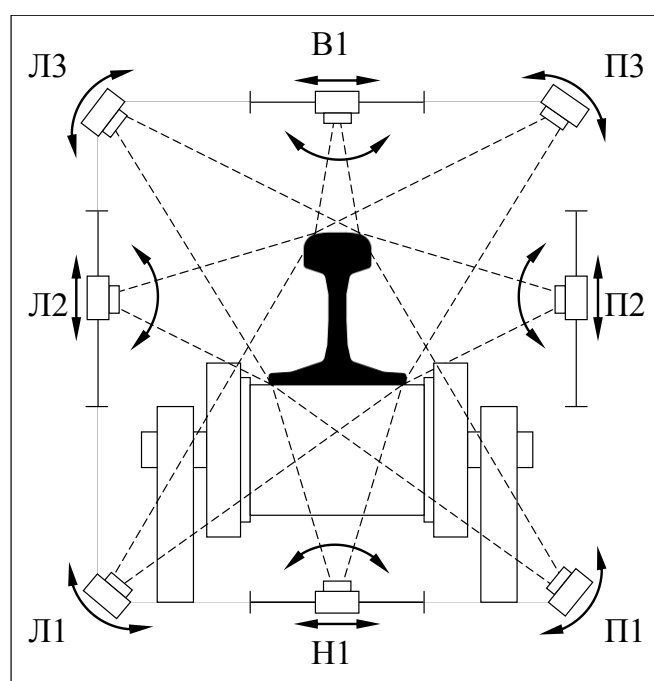


Рисунок 1 – Визуальный контроль качества поверхности рельсов

В результате анализа проблемной ситуации сформирована следующая задача распознавания поверхностных дефектов рельсов. *Используя* множество характерных фрагментов оцифрованных изображений поверхности дефектных и бездефектных участков рельсов, ГОСТы, атласы дефектов, технологические инструкции по производству рельсов и их приемке, аппарат искусственных нейронных сетей и экспертных систем (ЭС), методы извлечения знаний опытных контролеров, научные концепции по распознаванию Я.З. Цыпкина, Ю.И. Журавлева, В.А. Сойфера, П. Харта, а также системы-прототипы (систему со стационарно смонтированными видеокамерами (компания Thyssen Krupp Stahl AG), систему визуального контроля поверхности проката (компания KNORR TECHNIK), систему контроля качества

поверхности стальной полосы, основанную на оптоэлектронном методе выявления и классификации поверхностных дефектов (компания МАЛЛЕНОМ), систему инспекции качества полосы проката (компания «ДАТА-ЦЕНТР»), *требуется* разработать алгоритмическое и другие виды обеспечения интеллектуальной системы распознавания поверхностных дефектов рельсов, перемещаемых ролянгом, учитывающие заданные ограничения на время и скорость и обеспечивающие максимум правильно опознанных дефектов.

Авторами доклада разработаны схема расположения камер, обеспечивающих «двух-» и «трехглазие» (рисунок 2), процедура распознавания поверхностных дефектов рельсов [1 – 4], включающая следующие основные операции: сканирование поверхности рельса; преобразование полученного

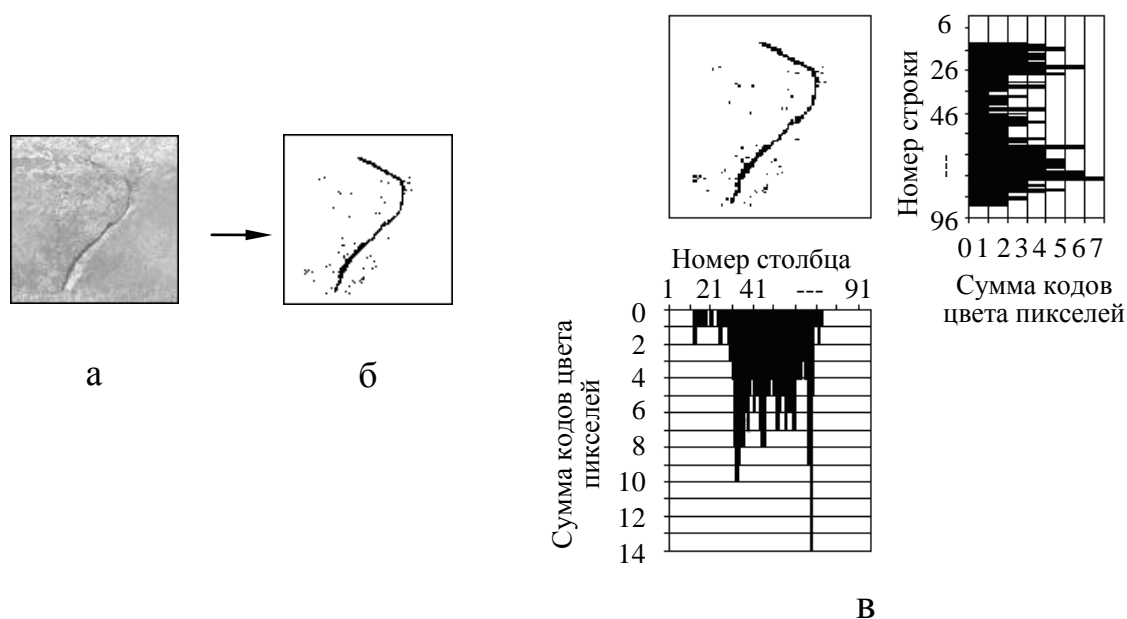


В1 и Н1, Л1 – Л3 и П1 – П3 – верхняя и нижняя, левые и правые видеокamеры соответственно

Рисунок 2 – Схема расположения камер, обеспечивающих «двух-» и «трехглазие»

цветного изображения в изображение с нулевым контрастом; нормирование и бинаризацию изображения; элиминирование помех, искажающих изображение фрагментов рельса; оценивание информативного признака (рисунок 3) и автоматическая нейросетевая классификация. Если класс поверхностного дефекта не установлен с заданной точностью в автоматическом режиме работы системы, то выполняется запуск специализированной экспертной подсистемы распознавания поверхностных дефектов, использующей продукци-

онную модель представления знаний опытных контролеров и работающей в режиме человеко-машинного взаимодействия.



Первое наблюдение, $i = 1$

а – исходное изображение поверхностного дефекта (плены);
 б – бинаризованное изображение

Рисунок 3 – Пример оценивания информативного признака

Рассмотренная выше процедура позволяет повысить производительность труда операторов-контролеров за счет его автоматизации.

Предложенное автоматизированное рабочее место оператора-контролера обеспечивает просмотр протокола и очищенных от помех видеозображений дефектов. Здесь же автоматически формируются рекомендации по устранению дефектов рельсов и определению его категории, которая может быть подтверждена либо скорректирована оператором. Автоматизированный визуальный контроль основан на диалоге с экспертной подсистемой, а также на записи видеосигнала в цифровой форме, что позволяет оператору более эффективно и оперативно контролировать поверхность рельсов. Оператор имеет возможность вручную указать местонахождение и тип обнаруженного дефекта, а также связываться с лабораторией для получения дополнительной информации.

Предлагаемая процедура характеризуется высокой гибкостью и приспособленностью к опознаванию типовых и новых видов дефектов рельсов. Контролю подлежат все типы железнодорожных рельсов, при этом предусмотрена автоматическая корректировка настроек системы при переходе на другой тип рельсов по указанию оператора-контролера.

Оператор-контролер, визуально осматривая дефектный участок реального рельса, его цветное цифровое изображение, а также изображение, очищенное от фона и помех путем бинаризации (рисунок 4), отвечая на вопросы

экспертной подсистемы, работающей в диалоговом режиме (рисунок 5), получает суммарную балльную оценку возникновения конкретного типа дефекта. Указанный на рисунке 4 объект экспертная система-прототип идентифицировала как плену.

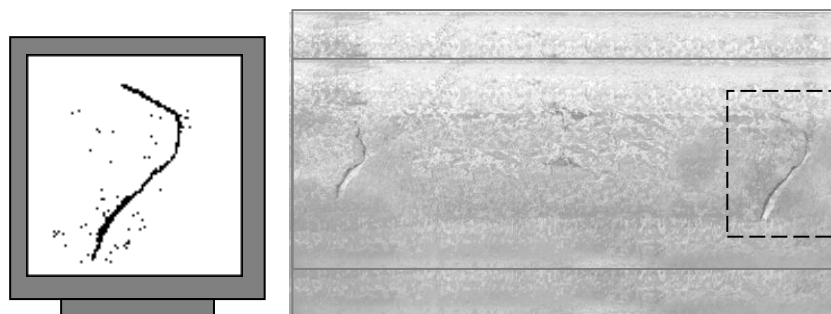


Рисунок 4 – Изображение дефектного участка рельса на посту оператора-контролера

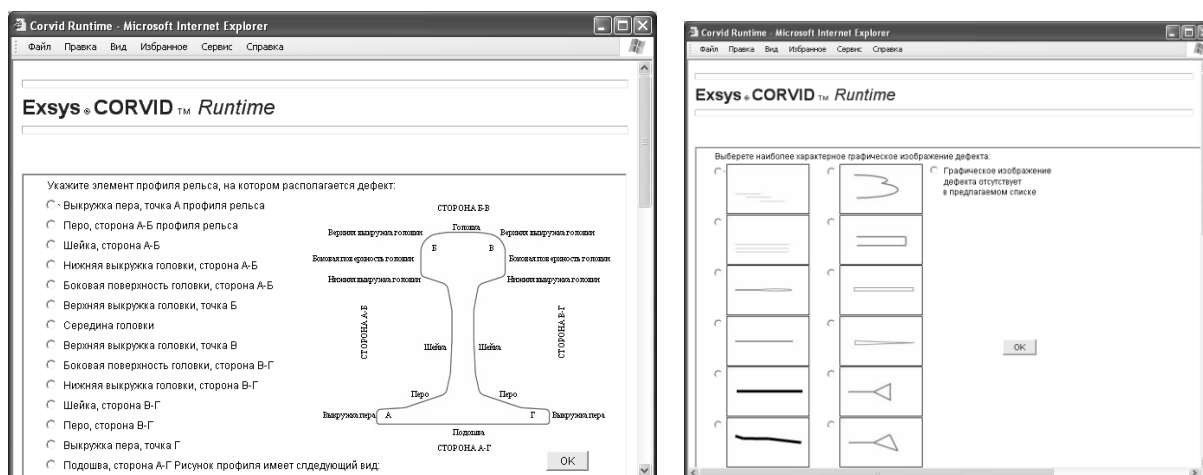


Рисунок 5 –Экранные формы монитора рабочего места оператора-контролера

Оператору-контролеру предлагаются вопросы экспертной подсистемы, связанные с морфологическими признакам дефектов поверхности (цветом, блеском, шероховатостью), формой, расположением, структурой, а также с возможными причинами их возникновения.

Экспертная подсистема позволяет использовать данные технологических инструкций, обобщать опыт специалистов высокой квалификации (опытных контролеров) и собственный опыт, а также обеспечивает доступ к ним другим специалистам. Запуск экспертной подсистемы осуществляется тогда, когда в автоматическом режиме не удалось установить тип дефекта, а это происходит обычно в нестандартных случаях, например, при поломке прокатного оборудования.

Программный модуль имеет настраиваемый графический интерфейс,

позволяющий оператору-контролеру просматривать, анализировать и корректировать накопленные графические и числовые данные о контролируемых рельсах. Трехмерное изображение обнаруженных дефектов в режиме реального времени выводится на мониторы, расположенные на постах управления. Знание точного местоположения обнаруженных дефектов позволяет уменьшить количество обреза и в значительной степени предотвратить повреждения на последующих этапах обработки.

Обнаруженные на рельсах дефекты отмечаются краской определенного цвета, указывающего на тип дефекта (например, если опознана раскатанная трещина, то дефектный участок рельса помечается белой краской и т.п.). При этом оператор-контролер оповещается о наличии дефекта звуковым сигналом. Визуально-звуковой анализ позволяет оператору отходить от рабочего места, пока продолжается автоматическое сканирование поверхности рельсов.

По результатам контроля качества рельсов автоматически составляется электронная стеллажная ведомость (протокол), в которую вносится количество принятых рельсов по категориям, сортаменту и длинам, а также перечень отбракованных рельсов с указанием вида дефектов, их протяженности и мест расположения.

Автоматический контроль и оперативное документирование его результатов имеет много преимуществ и в настоящее время является необходимым требованием к современным производственным комплексам. В первую очередь, это позволяет автоматизировать труд операторов-контролеров, оперативно отслеживать появление дефектов, проводить повторный анализ полученной информации, а также создавать полноценные отчеты для научно-исследовательских заводских лабораторий не только по обнаруженным дефектам, но и по состоянию всего проката.

В случае необходимости подтверждения наличия дефекта, оператор-контролер делает пробную его вырубку крейцмейселем. Раздваивающаяся при этом стружка служит основанием для перевода рельса в более низкую категорию качества или отбраковки. Если при повторной вырубке стружка не раздваивается, то место вырубki подлежит пологой зачистке. Дефекты, которые могут быть устранены путем зачистки, помечаются и затем зачищаются работниками цеха с соблюдением допускаемых на данном элементе профиля отклонений. После удаления дефекта рельс должен быть проверен контролером на качество и глубину зачистки.

В зависимости от характера дефектов (глубины, протяженности) рельсы в соответствии с требованиями стандартов переводятся контролером в более низкую категорию качества или направляются на вырезку дефектных участков, доправку на прессах, дофрезеровку и т.д. Проверка геометрических размеров рельсов производится шаблонами, изготовленными в установленном порядке и имеющими приемочные клейма.

Предложенная система распознавания позволяет: *повысить эффективность производства* за счет удаления бракованных рельсов из дальней-

шей обработки, оптимизации (сокращения) количества отходов, оперативной корректировки технологического процесса, предотвращения ущерба на более поздних стадиях обработки, снижения затрат на обеспечение качества и штрафов от потребителя; *повысить эффективность капиталовложений* в модернизацию производства за счет выявления источника возможного возникновения дефектов, накопления долгосрочной статистики, полезной при анализе эффективности и модернизации предприятия; *сократить затраты, вызванные аварийными ситуациями* за счет быстрого реагирования в нештатных ситуациях (повреждение валка, изменение температурного режима и т.п.), предотвращения аварийных ситуаций.

Повышение уровня автоматизации процесса выявления поверхностных дефектов рельсов оператором-контролером за счет использования современных интеллектуальных инструментов (искусственных нейронных сетей и экспертных систем) обеспечивает более надежную, непрерывную, эффективную работу линии неразрушающего контроля. Необходимость автоматизации контроля качества проката также продиктована тем, что условия работы операторов-контролеров, использующих только ручной контроль и визуальный осмотр дефектного участка, относятся к вредным (тяжелым) условиям, согласно санитарно-гигиеническим нормам. Дальнейшее совершенствование программно-технического комплекса ведется в направлении преодоления трудностей, связанных с многообразием типоразмеров рельсов и видов изнашивания их поверхности.

Интеллектуальная система распознавания поверхностных дефектов рельсов в процессе их производства, позволяющая с помощью искусственных нейронных сетей автоматически обнаружить типовые поверхностные дефекты, оценить их параметры и пространственные координаты, а в нестандартных случаях оказывать помощь оператору-технологу посредством специализированной экспертной подсистемы, использующей морфологические и генетические признаки дефектов, является эффективной. Эффективность ее доказана посредством ситуационного моделирования с использованием натуральных видеоклипов, полученных в рельсобалочном цехе ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат», результаты которого показали возможность достижения 90 % правильности распознавания дефектов в автоматическом режиме, за счет операции вращения изображения критерий качества распознавания составил 95 %, а при подключении экспертной системы его значение увеличилось до 97 %. Для распознавания классов оставшихся 3 % поверхностных дефектов привлекается специалист рельсовой лаборатории. Принцип работы интеллектуальной системы распознавания поверхностных дефектов для других видов проката остается таким же, как для рельсов. Изучение поверхностных дефектов листового проката, а именно плены, трещины, это подтвердило (дефекты листа по форме подобны дефектам рельсов).

Библиографический список

1. Интеллектуальная система распознавания поверхностных дефектов проката / С.М. Кулаков, В.Б. Трофимов, Н.Ф. Бондарь, С.В. Чабан // Информационные технологии. – 2008. – № 5. – С. 53 – 59.
2. О распознавании поверхностных дефектов и маркировки рельсов / С.М. Кулаков, В.Б. Трофимов, Н.Ф. Бондарь, С.В. Чабан // III Международная конференция по проблемам управления: тезисы докладов. Том 1. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2006. – С. 148.
3. О распознавании поверхностных дефектов и маркировки рельсов / С.М. Кулаков, В.Б. Трофимов, Н.Ф. Бондарь, С.В. Чабан // III Международная конференция по проблемам управления: тезисы докладов. Том 1. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2006. – С. 148.
4. О построении экспертной системы распознавания поверхностных дефектов проката / С.М. Кулаков, В.Б. Трофимов, Н.Ф. Бондарь, С.В. Чабан // Инновационные недра Кузбасса. IT-технологии: Труды VI Всероссийской научно-практической конференции. – Кемерово: ИНТ, 2007. – С. 39 – 41.

УДК 005:007

ОБ УПРАВЛЕНИИ СИНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

ЦЫМБАЛ В.П.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Истоки теории самоорганизации

Формирование нового научного направления, которое получило название теории самоорганизации или синергетики (этот термин имеет более узкий смысл) условно относят к 1978 – 1979 годам и связывают с появлением двух фундаментальных трудов школ И. Пригожина [1] и Г. Хакена [2]. В этих и последующих трудах школ сформированы основные принципы этой теории, условие самоорганизации и возможные способы воздействия на объекты (диссипативные структуры), которые обладают синергетическими (когерентность, согласованное поведение частиц) свойствами. Если они действительно такими свойствами обладают.

Как следует из расширенного толкования второго закона термодинамики [1] для открытых систем (рисунок 1), приращение энтропии в такой системе есть

$$dS = d_i S + d_e S, \quad (1)$$

где $d_i S$ и $d_e S$ – соответственно приращение энтропии внутри системы и за счет воздействия извне.

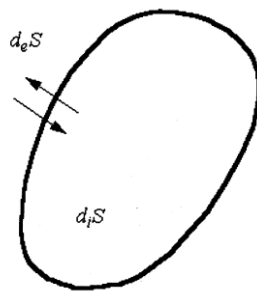


Рисунок 1 – Открытая система

При этом самоорганизация (спонтанное образование более организованной структуры) возможно если

$$\Delta S = \int_{\text{по пути}} dS < 0 \quad (2)$$

Таким образом, самоорганизация возможна, если на каком-то отрезке пути эволюции системы в ней произойдет уменьшение энтропии.

Учитывая, что энтропия внутри изолированной системы может только увеличиваться (достигая максимума), т.е. $d_i \geq 0$, выполнение условия (2) возможно лишь за счет потока энергии (отрицательной энтропии $d_e S$) извне.

Это необходимое, но недостаточное условие самоорганизации.

А вторым важным условием самоорганизации, о котором часто забывают, является достаточно высокий уровень сложности системы и способность к взаимодействию составляющих ее частей.

Созданные человеком механические объекты, как правило, не имеют достаточного количества степеней свободы и поэтому не обладают синергетическими свойствами.

С точки зрения возможностей и принципов управления выделяют два принципиально отличающихся вида объектов.

1. Объекты механической природы (как правило, искусственно созданные человеком).

2. Объекты термодинамической природы (в значительной степени заимствованные у самой природы). Например, расплавы металлов, шлаков – это частные случаи природных магматических систем.

Объектами механическими можно управлять однозначно, изменяя начальные условия. Снаряд из пушки попадает в цель, если его послать под определенным углом и с определенной скоростью. Сюда же можно отнести и летательные аппараты, если рассматривать их как движение материальной точки по заданной траектории. Роль регулятора (кибернетос-рулевой) при этом сводится к тому, чтобы не позволять этому аппарату (самолету, крылатой ракете и т.д.) существенно удаляться от заданной траектории. Только при

таким допущением для описания объекта и синтеза закона управления можно ограничиться относительно простыми линейными дифференциальными уравнениями. Классическая теория управления занималась преимущественно объектами такого плана, то есть движущимися объектами. Такой подход затем (и мы в том числе) пытались применять также для управления объектами физико-химической природы, например, для управления химическим составом расплавленного металла по заранее заданной траектории, однако эти многочисленные попытки к успеху не привели. До сих пор так и не удалось создать замкнутую систему управления для таких объектов, ниже мы попытаемся рассмотреть – почему?

Объектами термодинамической природы (на которых ниже мы и сосредоточим внимание) нельзя управлять с помощью начальных условий. В одном моле вещества содержится $6 \cdot 10^{23}$ молекул, а число возможных комплексов из этих молекул (а тем более, если два вещества вступают в реакцию) практически несчетно.

Поэтому объектами такой (физико-химической) природы можно управлять (и то неоднозначно) с помощью граничных условий. При этом они способны выходить из повиновения за счет возможности самопроизвольной организации когерентного поведения, которое может приводить к бифуркациям и различного рода режимам с обострением.

Важным фактором, влияющим на поведение таких объектов является уровень отклонения от термодинамического равновесия.

Различают три уровня:

1. Термодинамическое равновесие (ТДР).
2. Слабое отклонение от ТДР (линейная термодинамика).
3. Сильное отклонение от ТДР (нелинейная термодинамика).

Для большей конкретности рассмотрим эти уровни на примере металлических расплавов или шлакометаллических систем.

Первому уровню соответствует стремление расплавов (систем) к выравниванию химического состава и температуры. Примером являются процессы внепечной обработки: продувка аргоном, вакуумирование и т.д. Здесь выполняется знаменитый принцип Больцмана – стремление к максимуму энтропии.

Условием нахождения системы на втором уровне является выполнение соотношения взаимности Онсагера {1}.

$$\begin{aligned} q_t &= \alpha_t \Delta T \\ q_c &= \beta_c \Delta C \end{aligned} \tag{3}$$

Для линейной термодинамики, как известно [1], доказана теорема о минимальном производстве энтропии из которой следует, что

$$\frac{d\rho}{dt} \leq 0 \tag{4}$$

где $\rho = \frac{ds}{dt}$ – производство энтропии.

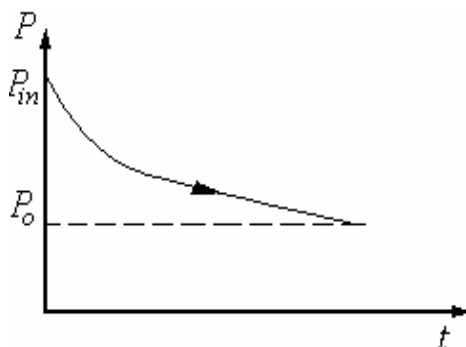


Рисунок 2 – Изменение производства энтропии

Как видно из рисунка 2, в системах, удовлетворяющих условиям этой теоремы, возникшие внутри системы или внесенные извне возмущения (флуктуации) асимптотически затухают, и система самопроизвольно стремится к определенному уровню текущего (не термодинамического) равновесия, соответствующего минимальному ρ_{\min} производству энтропии.

Отсюда следует, что в такой системе самопроизвольное (спонтанное) образование новой более организованной структуры невозможно, но зато в этой системе имеет место саморегулирование. И если мы не хотим, чтобы в каком-то технологическом процессе (сталеплавильной ванне) не возникали аномальные ситуации (вскипание, выбросы), то нельзя допускать, чтобы управляющие воздействия (потоки вещества и энергии) превышали определенный уровень, но это часто приходит в противоречие со стремлением к повышению производительности и тогда система попадет на третий уровень.

Третий уровень как видно из приведенной на рисунке 3 бифуркационной диаграммы соответствует большому отклонению от термодинамического равновесия. Правее точки бифуркации λ_c возможность предсказания детерминированного поведения системы исчезает, ее поведение становится непредсказуемым, большую роль начинают играть флуктуации. При увеличении степени отклонения от ТДР система может через границу устойчивости скачком перейти на новый структурный уровень. Но для поддержания системы на этом уровне требуются более мощные потоки энергии извне (см. $d_e S$ на рисунке 1).

При реализации такого процесса возникает проблема устойчивости неравновесных стационарных состояний, которые могут нарушаться вследствие флуктуаций или вынужденных изменений внутренних параметров, т.е. нарушается условие стационарности $d_x P = 0$ или $dP = 0$.

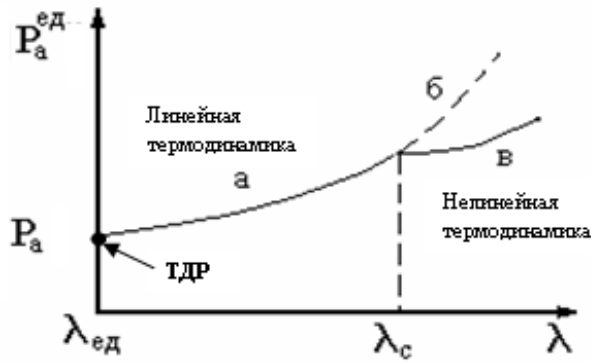


Рисунок 3 – Бифуркационная диаграмма

В линейной области производство энтропии P в стационарном состоянии минимально: $P = \min$. Любое отклонение от этого состояния только увеличивает энтропию, т.е. $\delta P \geq 0$, $P = P_{\min} + \delta P \geq P_{\min}$. Возбужденная линейная система стремится к стационарному состоянию с минимумом производства энтропии, в ней как бы существуют некие силы, возвращающие систему к стационарному состоянию, которое всегда устойчиво к возмущениям. Это согласуется с устойчивостью по Ляпунову.

Для нелинейных же систем [3] нет принципов, позволяющих предсказывать направление изменения производства энтропии при отклонении систем от стационарного состояния, то есть не существует функций состояния, которые имели бы экстремум в стационарном состоянии и, следовательно,

$$\delta_x P = V \sum_k I_k \delta X_k \cong 0, \quad (4)$$

где $\delta X_r = X_r - X_r^{(S)}$ – отклонение от стационарной величины, а

$$I_k = I_k^{(S)} + \delta I_k.$$

В нелинейной области устойчивость стационарного состояния не поддерживается автоматически. Такое состояние «устойчиво только тогда, когда все возможные отклонения и возмущения имеют характер подъема в горку» [8], т.е. когда справедливо соотношение

$$\delta_x P = V \sum \delta I_r \delta X_r \geq 0. \quad (5)$$

Это неравенство представляет собой общие условия устойчивости стационарных состояний и его можно назвать условием текущего равновесия.

Отсюда следует вывод, что для поддержания такой системы в стационарном состоянии необходимо постоянное подталкивание ее вверх, иначе она сходит вниз с данного стационара.

О попытках построения синергетической теории управления

Одна из первых попыток в этом направлении предпринята А.А. Колесниковым [4]. Остановимся на сути этого подхода. Автор этой работы, которая затем была развита в коллективном труде [5], справедливо отмечает, что современная теория управления успешно освоила методы достаточно грубого внешнего воздействия на различные технические объекты. Однако наступило время пересмотра силовых подходов в задачах управления и использования идей самоорганизации, то есть возникает потребность поиска методов целевого воздействия на процессы самоорганизации в нелинейных автоматических системах, создания способов формирования и возбуждения внутренних сил взаимодействия, которые могли бы породить в фазовом пространстве систем устойчивые диссипативные структуры, адекватные физической сущности соответствующей системы.

Эту проблему предполагается решать следующим образом.

Исходную систему, состоящую из некоторого динамического объекта и действующих на него внешних сил (управляющих, задающих и возмущающих воздействий) предлагается путем замыкания прямыми и обратными связями преобразовать в новую расширенную систему. При этом первоначальные воздействия бывшие внешними силами по отношению к исходному объекту становятся внутренними силами расширенной системы. По мнению автора, такая система действительно становится открытой в термодинамическом смысле, и через нее будет протекать энергия или вещество (или информация) из какого-то источника.

В действительности же объект и до этого являлся открытой системой и такого рода расширение происходит всегда при формулировке проблемы синтеза системы управления, которая сводится к определению законов управления. А эти законы, являющиеся уравнениями регулятора должны обеспечить желаемые динамические свойства замкнутой системы: объект – закон управления (регулятор). Но такая постановка является по существу тривиальной, поскольку в любом таком случае система становится самоорганизующейся (точнее саморегулирующей).

В чем же новизна подхода? По мнению автора [4], новизна подхода заключается в том, что к этой расширенной системе предлагается применить известные принципы синергетики. Естественно, при этом речь идет о достаточно сложных многосвязных нелинейных системах.

При решении задачи синтеза таких систем автор в качестве наиболее важных моментов выделяет следующие:

– Управление объектом произвольной природы представляет собой организованный целенаправленный процесс редукации степеней свободы исходной системы, то есть все избыточные с точки зрения поставленной цели степени свободы редуцируются и остаются только те степени свободы, которые определяют цель управления. Но при таком подходе, следует заметить, мы опять же подчиняем свойства объекта (в том числе синергетические) целям управления, которые, кстати сказать, не являются целями, соответст-

вующими «подлинной оптимизации» самого технологического объекта, а отвечают критериями качества замкнутой системы управления (асимптотическая устойчивость, минимальное время переходного процесса и т.д.).

– Применительно к развиваемому автором подходу редукция степеней свободы означает организацию между координатами системы некоторых связей – инвариантных многообразий (синергий), которые реализуют указанную редукцию степеней свободы. При этом инвариантны многообразия (редукторы степеней свободы) вводятся в систему с помощью соответствующего закона управления. Как определить, что это за закон?

– Редуцированные степени свободы замкнутой системы представляют собой элементы управления как некоторые системные категории (инвариантные многообразия – синергии), которые ограничивают разнообразие системы, формируют связи, то есть осуществляют некоторые акции управления. Но ограничение разнообразия – это опять же силовой подход.

Таким образом, в рассматриваемой постановке управление – это преодоление избыточных степеней свободы системы и, как подчеркивает автор, важным в этой постановке является следующий момент: сначала следует создать избыточные степени свободы, которые определяют дополнительные возможности в свойствах будущей системы, а затем редуцировать эти степени свободы в процессе управления с помощью наложения ограничений в виде инвариантных многообразий. Но при этом еще раз следует заметить, что, налагая ограничения на степени свободы, мы тем самым в определенной степени подавляем движение объекта, то есть его синергетические возможности и внутренние резервы.

В качестве наиболее конструктивного, с нашей точки зрения, момента следует отметить тот факт, что автор в качестве многовариантных многообразий, предлагает использовать, в том числе законы сохранения, что позволит в какой-то мере учитывать физические свойства объекта и сделать налагаемые на степени свободы ограничения менее жесткими.

В результате представленной выше постановки далее проблема сводится, по существу, к задаче аналитического конструирования регулятора. При этом, естественно, необходимо иметь математическую модель объекта.

Подход Колесникова А.А. [4], связанный с замыканием системы и аналитическим конструированием регуляторов, по-видимому, прежде всего, приемлем для подвижных объектов (например, летательных аппаратов), где траектория в большем может быть достаточно точно задана, а уровень математического описания объекта достаточно высок.

В рассматриваемых же нами объектах (например, сталеплавильных процессах) траектории процессов обезуглероживания, нагрева, окисленности шлака и другие как бы погружены в объект и взаимоувязаны через внутренний управляющий параметр, например, турбулентную диффузию. Поэтому не случайно, за многие десятилетия существования этих объектов так и не удалось осуществить их полное замыкание через регуляторы (без участия оператора).

Применительно к этим объектам более приемлемым является подход на основе прогнозирующей подстраиваемой модели, реализующий принцип дуального управления, на котором мы остановимся несколько ниже. Здесь же мы хотим лишь заметить, что при таком подходе проще и естественнее решается проблема «подлинной оптимизации», то есть оптимизация самого технологического объекта (процесса) в большом, тем более что в таких объектах возможны очень мощные флуктуации и бифуркационные режимы, с которыми трудно справиться пусть даже достаточно совершенному регулятору [6]. Кроме того, подавление таких режимов может снизить эффективность работы объекта (затормозить скорости протекания физико-химических процессов). Такие режимы нередко рассматриваются, как аномальные, но в эти моменты резко возрастают скорости процессов, что достаточно наглядно было показано в примере с самораскипанием мартеновской ванны [6]. Для управления такими объектами в подобных ситуациях требуются другие, более сложные подходы.

Мы удалили достаточно много внимания реферированию в целом весьма интересной монографии А.А. Колесникова [4], которая явилась своеобразной основой для дискуссии и размышлений о подходах к управлению *синергетическими объектами*. Мы не случайно употребили и выделили этот термин, поскольку по настоящему *синергетическое управление* (пока не совсем ясно какое) целесообразно применять именно к объектам с четко выраженными синергетическими свойствами, к числу таких объектов в полной мере можно отнести объекты физико-химического типа, в том числе процессы в плавильных агрегатах металлургии, процессы катализа в ряде химических технологий, самораспространяющийся высокотемпературный синтез и др.

Развиваемый же А.А. Колесниковым [4, 5] подход по-видимому, приемлем для более простых (чем физико-химические) систем (например, механических и электромеханических), где уровень детерминированного описания достаточно высок. В этом подходе в качестве основной становится задача аналитического конструирования агрегатированных регуляторов с использованием инвариантных многообразий. Такой подход более приемлем в тех случаях, когда становятся задача стабилизирующего или следящего регулирования. В этих задачах использование таких критериев как асимптотическая устойчивость и минимальное время переходного процесса является вполне естественным.

Но в синергетике, как известно, асимптотическая устойчивость, есть следствие выполнения теоремы о минимальном производстве энтропии, которая справедлива для систем не сильно отклоненных от состояния термодинамического равновесия (то есть линейных систем), где самоорганизация (в смысле перехода на новый более высокий структурный уровень) невозможна. Таким образом, здесь можно говорить лишь о *самостабилизации* (*саморегулировании*). В системах же сильно отклоненных от состояния равновесия переходный процесс носит спонтанный скачкообразный характер,

поэтому такие критерии как асимптотическая устойчивость и минимальное время переходного процесса здесь не приемлемы, они могут ограничивать использование внутренних ресурсов объекта. В таких случаях нас интересует не сам характер переходного процесса, а новая стационарная *диссипативная* структура – поведение процесса на новом стационарном уровне.

Ещё раз резюмируя результаты приведенного выше содержательного анализа, следует отметить, что в попытке использования принципов синергетики для управления сложными системами, автор рассмотренной выше монографии [4] в значительной мере оказался все таки в плену идей, господствующих в кибернетике (точнее, в теории автоматического управления), прежде всего – идеи охвата объекта обратной связью и аналитического синтеза регулятора (пусть даже сложного и в какой-то мере синергетичного).

Неслучайно автор [4] назвал свой подход *кибергонией*. Нам кажется, что охват объекта обратной связью (по крайней мере, постоянно действующей) противоречит одному из основных принципов синергетики – принципу минимального принуждения. По-видимому, в синергетических системах (если мы хотим в полной мере использовать их внутренние свойства и ресурсы) возможно лишь периодическое подключение обратной связи, точнее, проверка – движется ли объект в нужном нам направлении.

На основе нашего опыта изучения сложных термодинамических объектов, действительно обладающих синергетическими свойствами [5, 6], можно выделить два более приемлемых подхода к управлению самоорганизующимися объектами физико-химического типа [6, 7].

1. Если имеется достаточно адекватная модель объекта, то в результате ее исследования и оптимизации могут быть найдены собственные функции объекта и на их основе программно реализованы (*управление в большем*), например, режимы с обострением, удовлетворяющие целям функционирования данного объекта (см. примеры исследования нелинейной теплопроводности в главе 8 [6]) или какие-либо другие технологически оптимальные режимы.

2. Если имеется модель только качественного плана или данные о параметрах порядка с учетом принципа подчиненности, то на объект могут накладываться периодические пробные воздействия в сторону повышения степени неравновесности (увеличение потока вещества или энергии) и проверяться результат самоорганизации (движение в нужном направлении), через период близкий к наиболее медленному параметру. По-видимому, наиболее приемлемым применительно к управлению такими системами является подход, в какой-то мере согласующийся с принципами теории *дуального управления А.А. Фельдбаума*, идея которого в самом простейшем виде сводится к следующему: сначала изучи, а затем прими решение по управлению. Проще всего он реализуется через систему управления на основе прогнозирующей адаптивной модели [6, 7], схема которой представлена на рисунке 4.

Как видно из этой схемы здесь нет в явном виде обратной связи по отклонению выходной величины от задания, а воздействие на исполнительные механизмы не является непрерывным. Основной упор здесь делается на ана-

лиз ошибки модели $\epsilon_M = y - y_M$ ее последовательную адаптацию.

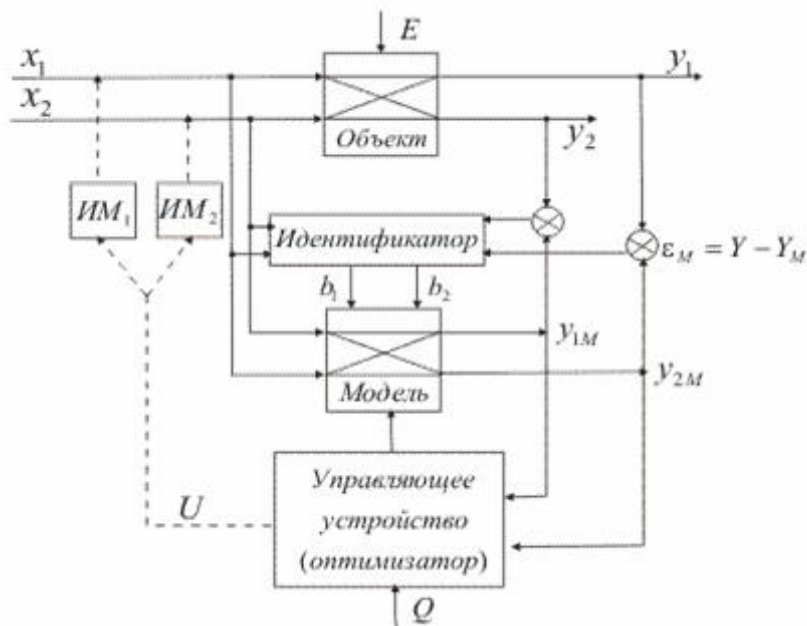


Рисунок 4 – Схема управления на основе прогнозирующей подстраиваемой модели

Нанесение же управляющих воздействий запаздывает как минимум на один такт и осуществляется лишь после того, как управляющее устройство (оптимизатор) найдет аналитически или поисковым методом значения управляющих воздействий, удовлетворяющие заданному критерию. В качестве такого критерия может, в частности, быть движение объекта в заданном направлении (или нахождение в заданной области) с минимумом затрат.

Библиографический список

1. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. – 512 с.
2. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. – 406 с., ил.
3. Гладышев Г.П. Термодинамика и макрокинетика природных иерархических процессов. М.: Наука, 1988. – 287 с.
4. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. М.: Энергоатомиздат, 1994.
5. Современная прикладная теория управления: Синергетический подход в теории управления / Под ред. А.А. Колесникова. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. Ч. I. – 400 с.
5. Цымбал В.П. Введение в теорию самоорганизации. С примерами из металлургии: Учеб. пособие / Изд. 2-е стер. СибГИУ. – Новокузнецк, 2001. – 251 с.
6. Цымбал В.П., Мочалов С.П., Калашников С.Н. Модели и механизмы самоорганизации в технике и технологиях. В 3-х ч.: Ч. III. Примеры реализа-

ции идей и принципов синергетики: Уч. пособие / Под ред. В.П. Цымбала. СибГИУ. – Новокузнецк, 2005. – 264 с.

7. Цымбал В.П. Математическое моделирование металлургических процессов. М.: Металлургия, 1986. – 240 с.

УДК: 532: 538.4: 536.24: 621.36:669.187

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ЛИТЬЯ

ВЕРЕВКИН В.И., БЕЛОУСОВ П.Г., БЫСТРОВ В.А..

*Кузбасская государственная педагогическая академия,
Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Процесс плавления электрода при электрошлаковом процессе (ЭШП) до сих пор относится к малоизученным. Его математическое описание в основном сводится к отражению конвективного теплообмена в шлаковой ванне с учетом действия пондемоторных сил [1, 2]. В то же время остаются практически не исследованными вопросы многочисленного проявления эффектов самоорганизации процесса. Так при наплавке горизонтальным (лежащим) электродом больших размеров проявляется нелинейный характер плавления электрода, движения фронта проплавления по слою шихты. Холодный старт ЭШП может сопровождаться расплавлением шлака, а может после периода разогрева смениться периодом затухания процесса. ЭШП лежит в основе целого ряда технологических процессов: электрошлакового переплава, электрошлакового литья, электрошлаковой наплавки и др.

Вскрытию некоторых закономерностей поведения системы управления процессом электрошлакового литья (ЭШЛ) посвящена работа сотрудников КузГПА и СибГИУ г. Новокузнецка. При изготовлении биметаллических отливок прокатных валков электрошлаковый процесс применен для обеспечения высокого качества переходной зоны между чугуном бандажом и стальной осью валка [3, 4].

Был разработан способ электрошлакового литья, обеспечивающий высокую стабильность качества отливаемых валков [5, 6]. Согласно ему в литейную форму соосно устанавливается электрод, выполненный в виде спирали – соленоида на расстоянии 50 – 100 мм от внутренней поверхности формы (рубашки). Наводится и подается с помощью промежуточного устройства жидкий шлак, а затем и жидкий металл. Осуществляется электрошлаковый процесс. Стабилизируется межэлектродный промежуток путем изменения массовой скорости заливки жидкого металла из промежуточного устройства. Для этого используется стопорное устройство, изменяющее сечение чугуновыпускного отверстия в зависимости от силы тока, протекаю-

щего через плавящийся электрод и шлаковую ванну. Соленоид, установленный вблизи поверхности бочки валка, при изготовлении простых отбеленных валков позволяет легировать поверхностные слои бочки сильными карбидообразующими элементами: Cr, V, W, Mo, Ti. Для этого соленоид изготавливается полым, а во внутрь засыпается дробленый ферросплав.

Достоинства такой технологии:

1. Раздельное регулирование химического состава периферии и внутренней области валка, что позволяет осуществлять раздельное (локально-зональное) легирование, модифицирование и рафинирование металла.

2. Раздельное регулирование химсостава периферии и внутренней области валка путем изменения химического состава шихты порошковой проволоки, ее диаметра, шага соленоида и его диаметра, силы тока (определяющей уровни электромагнитных сил \bar{F} и скоростей \bar{V} движения расплавов шлака и металла).

3. Раздельное регулирование химического состава периферии и внутренней полости валка путем изменения состава флюса (шлака) и высоты слоя шлака, изменения силы тока (определяющего уровни \bar{F} и \bar{V}).

4. Раздельная стабилизация химсостава и свойств отливки по высоте: по периферии – путем изменения состава шихты порошковой проволоки по высоте соленоида (в этом случае он набирается из нескольких участков с различным составом порошковой шихты), во внутренней области валка – путем изменения химсостава дозированных добавок расходуемого шлака по высоте слитка.

5. Экономно-легированное регулирование химсостава периферийных участков валка. Движение расплавов под действием электромагнитных сил (ЭМС) идет в двух основных направлениях: в щели между соленоидом и стенкой валка азимутально в одну сторону, а во внутренней области, охватываемой соленоидом, – в обратную сторону. Таким образом, существует разделяющая цилиндрическая поверхность, проходящая по соленоиду, разделяющая потоки расплава и предохраняющая их от перемешивания. Половина шихты, содержащейся в соленоиде, расходуется на щель, а вторая половина – на всю внутреннюю область. Поскольку объем щели относится к объему внутренней полости как 1/10-1/20, то степень легирования внутренней области относительно щели составляет всего 5 – 10 %.

6. Подплавление фронта кристаллизации, что способствует снижению размеров зерна вблизи соленоида. Стабилизируются размеры зерна, что повышает качество отливки. По фронту кристаллизации разрушаются вершинные части дендритов и фронт становится более плоским. В условиях интенсивного перемешивания это способствует дегазации и удалению неметаллических включений из расплава во время литья.

7. Процесс литья несет в себе основные достоинства электрошлакового переплава. В случае диспергирования струи жидкого металла из промковша, капля чугуна проходит через расплавленный слой шлака. Происходит ее

эмульгирование шлаком. Поскольку площадь контакта чугуна в капле резко (многократно) выше, чем в струе, то и скорость обменных реакций между металлом и шлаком оказывается очень высокой. Идет активный процесс рафинирования. Удаляются газы (в том числе, приобретенные в процессе литья), S, P. Металл очищается от корольков неметаллических включений. Одновременно идут процессы легирования и модифицирования. Кристаллизация осуществляется под толстым слоем расплава синтетического шлака, без непосредственного контакта с атмосферой. Кроме того, она идет как бы под утеплителем (изолирующей крышкой), что приводит к резкому уменьшению усадочной раковины и пористости в приводной верхней шейке и уменьшению расхода жидкого металла.

8. Наличие интенсивных азимутальных потоков с цилиндрической поверхностью раздела способствует достаточно независимой гомогенизации обеих областей (щели и внутренней) как по температуре, так и по химическому составу.

9. Поскольку соленоид полностью плавится, в том числе за счет тепла, выделяющегося в шлаке по закону Ленца-Джоуля, то в условиях интенсивного перемешивания происходит гомогенизация и самой границы обеих областей. После кристаллизации в переходной зоне не наблюдается значительного остаточного содержания легирующей порошковой шихты. В то же время и не наблюдается резкого перехода по химическому составу из одной области к другой, что связано со значительным снижением скорости движения расплава в обеих областях вблизи поверхности раздела.

10. Дополнительный подогрев способствует качественному сплавлению основы валка с рубашкой (по типу спирали), сводя на нет вероятность отслаивания рубашки в процессе эксплуатации.

Непосредственный прямой контроль межэлектродного промежутка в расплаве шлака в закрытой форме невозможен ввиду высокой температуры, агрессивности шлака и отсутствия надежных технических средств. Поскольку при прочих равных условиях изменение межэлектродного промежутка ΔH_M приводит к изменению силы тока ΔJ_{III} , протекающего при ЭШЛ, то эта зависимость используется для управления самим межэлектродным промежутком. Отклонение силы тока от заданного значения ΔJ_{III} принято в качестве информативного косвенного признака отклонения ΔH_M межэлектродного промежутка от заданного уровня.

Предлагаемая технология была использована для производства пробной партии прокатных валков. Была изготовлена установка на базе сварочного трансформатора ТШС-3000. Использовались наборные соленоиды. По технологии ЭШЛ с промковшом была отлита серия валков. Испытания валков, отлитых по новой технологии, показали перспективность данного направления изготовления отливок.

Анализ поведения нелинейного элемента электрической цепи – электрошлаковой ванны при малых отклонениях от состояния равновесия систе-

мы управления электрошлаковым литьем можно проводить с помощью линейной модели (рисунок 1). В качестве прототипа принята модель электрошлаковой сварки, приведенная в работе [5].

В качестве входов по помехе в представленной схеме выступают: \tilde{H}_m – изменение высоты межэлектродного промежутка и \tilde{J}_\emptyset – изменение силы тока наплавки, происходящего из-за колебаний напряжения сети. Третьим входом является задание H_{M3} по высоте межэлектродного промежутка. На схеме также обозначено: $V_{\dot{\gamma}}$ – скорость плавления электрода; V_p – скорость разливки; $V_{\dot{1}}$ – скорость подъема металлической ванны; $\Delta V_{\dot{1} \dot{1}}$ – скорость изменения межэлектродного промежутка; $H_{\dot{1} \dot{1}}$ – высота межэлектродного промежутка; J_\emptyset – сила тока электрошлакового процесса; t° – средняя температура шлаковой ванны.

Для оценки свойств объекта и системы управления процессом ЭШП найдем их обобщенные операторы.

Оператор каждого элемента приведенной схемы обозначим через f_i , где i – номер элемента, входы – через \mathcal{Y}_i , а выходы – через Y_i .

В таком случае векторно-матричное уравнение системы принимает вид:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	1	0	0	f_1	$-f_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	f_1	0
2	$-f_2$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$f_2 \tilde{H}_M$
3	0	0	1	0	0	0	0	0	$-f_3$	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	$-f_4$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	$-f_5$	$-f_5$	$-f_5$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	$-f_6$	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$f_6 \tilde{H}_M$
7	0	$-f_7$	$-f_7$	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$f_7 \tilde{J}_{III}$
8	0	0	0	0	0	0	0	1	$-f_8$	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	$-f_9$	$-f_9$	0	0	0	0	0	0
10	$-f_{10}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	$f_{10} \tilde{H}_M$
11	0	$-f_{11}$	$-f_{11}$	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	$f_{11} \tilde{J}_{III}$
12	0	$-f_{12}$	$-f_{12}$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	$f_{12} \tilde{J}_{III}$
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$+f_{13}$	1	0	$-f_{13}$	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$-f_{14}$	1	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	$f_{15} \tilde{H}_{M3}$
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$-f_{16}$	0	1	0

где $N_2 = \tilde{H}_1 = V_6 = V_{10}$;

$\tilde{J}_\emptyset = N_7 = V_{11} = V_{12}$;

$H_{13} = V_{15}$.

Полагая $V_{12} = 0$ и обозначая $Y_{16} = V_p$, получим, раскрывая определитель фундаментальной матрицы, характеристическое уравнение объекта, имеющее третий порядок. Проведенное исследование его на устойчивость позволило оценить диапазоны изменения коэффициентов усиления отдельных элементов, обеспечивающих требуемый уровень устойчивости объекта управления. Также не вызывает затруднений и исследование устойчивости и качества переходных процессов в классе линейных законов регулирования.

Найдено, что при изменении коэффициента передачи блока 3 от 0,91 до 3,129 и при увеличении $K_{1\zeta} > 1$ система оказывается неустойчивой, нижняя граница устойчивости системы соответствует коэффициенту $K_{\dot{N}\dot{O}} = 0,503 \times 10^{-6}$, а коэффициент $K_{\ddot{A}\ddot{A}} = 0,242 \times 10^{-3}$. Приведенные выше линейные уравнения достаточно хорошо описывают поведение реального объекта в «малом» для стационарных режимов.

Поэтому, учитывая весьма сложный характер протекающих процессов и явные признаки самоорганизации их в отдельных зонах, необходимо построение контуров управления соответствующего уровня сложности. Перспективными направлениями здесь могут быть методы теории бинарных систем, синергитической теории управления и др.

Вывод. Проведенный анализ устойчивости системы управления электрошлаковым литьем показал, что предложенный способ ЭШЛ имеет достаточный запас устойчивости в рабочем диапазоне изменения параметров режима наплавки, что также подтверждено результатами проведенных полупромышленных испытаний.

Библиографический список

1. Веревкин В.И. Анализ тепловых и гидродинамических явлений в шлаковой ванне при электрошлаковой наплавке композиционных сплавов с помощью математических моделей / В.И. Веревкин, С.Н. Калашников, В.А. Быстров, П.Г. Белоусов // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1992. – № 2. – С. 72 – 76.
2. Веревкин В.И. Анализ с помощью математической модели электромагнитных явлений в шлаковой наплавке неплавящимся электродом / В.И. Веревкин, С.Н. Калашников, В.А. Быстров // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1994. – № 4. – С. 33 – 36.
3. А. С. 2025208 СССР МКИ В 22 D 19/16, 25/06. Способ изготовления биметаллических прокатных валков / В.А. Быстров, В.И. Веревкин, Г.И. Веревкин (СССР) № 5030901; заявл. 6.03.92.
4. Патон Б.Е. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки / Б.Е. Патон, В.К. Лебедев. – М.: Машиностроение, 1966. – 526 с.

КОРРЕКТИРОВКА ТЕМПЕРАТУРЫ СТАЛИ В КОВШЕ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ УСТАНОВКИ «ПЕЧЬ-КОВШ»

ВЕРЕВКИН В.И., БРАГИН В.М., МЕДВЕДЕВ В.С.

*Кузбасская государственная педагогическая академия
г. Новокузнецк*

Существенным отличием внепечной обработки стали на установках Печь-ковш (УПК), иначе – в АКОС (агрегатах комплексной обработки стали) и установках доводки металла (УДМ), иначе – установках продувки стали аргоном (УПСА) является то, что в АКОС сталь может подогреваться чаще всего теплом электрических дуг со скоростью 3 – 5 °С/мин. Поэтому в отличие от управления процессом обработки стали на УПСА здесь дополнительно ставится задача программного управления нагревом стали в ковше. Определенную специфику имеет процедура назначения интегральных управлений на основе теплового баланса с учетом свойств электрических дуг и источника питания (рисунок 1).

Системы управления установками Печь-ковш, как на Новокузнецком, так и на Западно-Сибирском металлургическом комбинатах были приобретены у австрийской фирмы VAI (VOEST-ALPINE). К сожалению, были приобретены только одни нижние уровни систем. Стоимость верхнего уровня каждой из них составляет несколько миллионов долларов. Разработка верхнего уровня системы велась силами Инженерного центра ЗСМК и кафедрой автоматизации производственных процессов Кузбасской государственной педагогической академии. Ниже представлено математическое обеспечение второго уровня системы, относящееся к корректировке температуры стали в ковше. При этом присаживаемые на коррекцию химического состава сыпучие и алюминий в кусках либо в виде проволоки рассчитываются по отдельному алгоритму.

Далее для простоты корректирующие операции (охлаждение либо нагрев) будем именовать «нагрев». Образцовый нагрев выбирается после предварительного отнесения данной i -й плавки в одну из четырех групп плавков по наличию нижнего дутья АКОС и содержания углерода в стали. По этой группе плавков выбирается ближайший и имеющий высокий показатель качества q -й нагрев:

$$Q(i,j,f,q) = | r1 \cdot [T_k(j,q) - T_3(j,q)] + r2 \cdot \{ [T_3(i,f) - T_H(i,f)] - [T_k(j,q) - T_H(j,q)] \} | \rightarrow \min, \quad (1)$$

где i – номер данной плавки;

j – номер плавки из предыстории по данной группе плавков;

f, q – код вида корректирующей операции на i -й плавке и j -й плавке;

r_1, r_2 – весовые коэффициенты;

$T_3(i, f), T_3(j, q)$ – заданная температура стали на f -м нагреве i -й и j -й плавки;

$T_k(j, q)$ – конечная температура стали на q -ом нагреве j -й плавки;

$T_n(i, f), T_n(j, q)$ – начальная температура стали на f -м нагреве i -й и q -м нагреве j -й плавки.

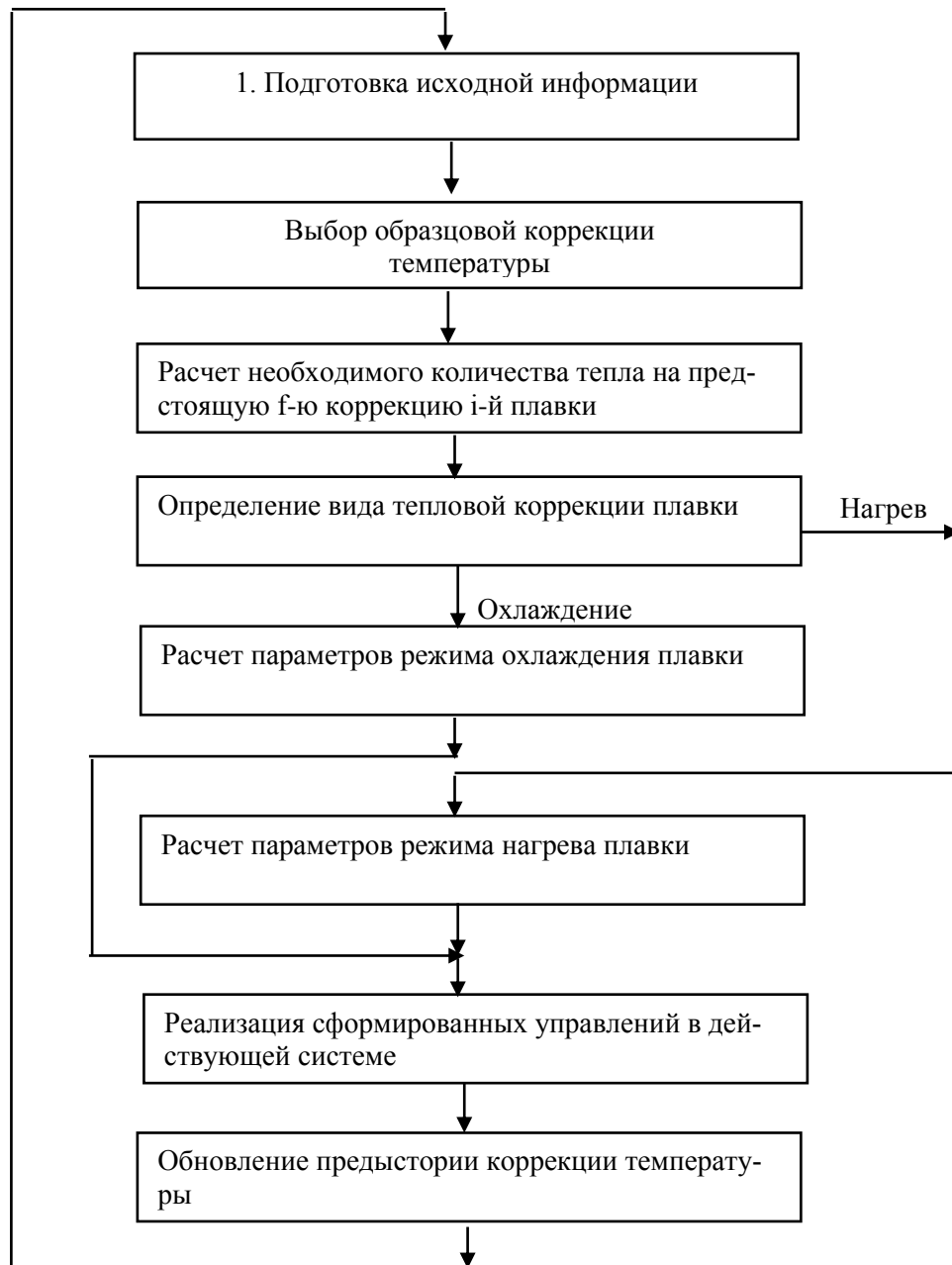


Рисунок 1 – Расчет интегральных управлений для коррекции температуры стали в ковше

С использованием уравнения (1) определяется значение показателя качества для $Q(i, j, f, q)$ для каждой из 10 нагревов предыстории. В качестве об-

разцового для данного f -го нагрева принимается тот, у которого величина $Q(i,j,f,q)$ окажется минимальной. Образцовым является найденный q -й нагрев j -й плавки только для данной i -й плавки и только для f -го нагрева. Для другого нагрева вновь будет определяться q -й образцовый нагрев, который в общем случае может не относиться к той же j -й плавке. В число анализируемых нагревов для поиска q -го образцового нагрева включаются и все ранее реализованные (уже проведенные) нагревы на данной i -й плавке. Для нагревов, проведенных на данной i -й плавке, при этом задаётся некоторый приоритет.

Если по итогам поиска в качестве образцовой будет принята сама i -я плавка, но только на ранее реализованном нагреве, то в последующих формулах, а также в формуле (1) параметры этого нагрева указываются как образцовые. Например, под j подразумевается $j = i$, под $q = (f - z)$, где $(f - z)$ – номер нагрева, принятого за образцовый. В остальном методика расчета режима сохраняется.

Расход тепла в отклонении от параметров образцовой плавки

$$\begin{aligned} \Delta Q_P(i,f,j,q) = & \{G_C(i) \cdot \Delta T(i,f) \cdot C_{PC} - G_C^{\circ}(j) \cdot \Delta T^{\circ}(j,q) \cdot C_{PC}^{\circ}\} \cdot K_{AC} + \{P_{ПШ} \cdot S_K [H_{ПШ}(i) \cdot \\ & \Delta T(i,f) \cdot C_{РПШ} - H_{ПШ}^{\circ}(j) \cdot \Delta T^{\circ}(j,q) \cdot C_{РПШ}^{\circ}]\} \cdot K_{АПШ} + \{G_{CaO}(i,f) \cdot \Delta T_X(i,f) \cdot C_{PCaO} \cdot \\ & K_{\%CaO} - G_{CaO}^{\circ}(j,q) \cdot \Delta T_X^{\circ}(j,q) \cdot C_{PCaO}^{\circ} \cdot K_{\%CaO}^{\circ}\} \cdot K_{ACaO} + \{G_{CaF2}(i,f) \cdot \Delta T_X(i,f) \cdot \\ & C_{PCaF2} \cdot K_{\%CaF2} - G_{CaF2}^{\circ}(j,q) \cdot \Delta T_X^{\circ}(j,q) \cdot C_{PCaF2}^{\circ} \cdot K_{\%CaF2}^{\circ}\} \cdot K_{ACaF2} - \{K_{FeSi} [G_{FeSi}(i,f) - \\ & G_{FeSi}^{\circ}(j,q)]\} \cdot K_{AFeSi} + \{G_{FeSi}(i,f) \cdot \Delta T_X(i,f) \cdot C_{PFeSi} - G_{FeSi}^{\circ}(j,q) \cdot \Delta T_X^{\circ}(j,q) \cdot C_{PFeSi}^{\circ}\} \cdot \\ & K_{AFeSi} - \{K_{Kокс} [G_{Kокс}(i,f) - G_{Kокс}^{\circ}(j,q)]\} \cdot K_{AKокс} + \{G_{Kокс}(i,f) \cdot \Delta T_X(i,f) \cdot C_{PKокс} - \\ & G_{Kокс}^{\circ}(j,q) \cdot \Delta T_X^{\circ}(j,q) \cdot C_{PKокс}^{\circ}\} \cdot K_{AKокс} + \{G_{SiMn}(i,f) \cdot \Delta T_X(i,f) \cdot C_{PSiMn} - G_{SiMn}^{\circ}(j,q) \cdot \\ & \Delta T_X^{\circ}(j,q) \cdot C_{PSiMn}^{\circ}\} \cdot K_{ASiMn} + \{G_{FeMn}(i,f) \cdot \Delta T_X(i,f) \cdot C_{PFeMn} - G_{FeMn}^{\circ}(j,q) \cdot \Delta T_X^{\circ}(j,q) \cdot \\ & C_{PFeMn}^{\circ}\} \cdot K_{AFeMn} + \{G_{Al}(i,f) \cdot \Delta T_X(i,f) \cdot C_{PAL} - G_{Al}^{\circ}(j,q) \cdot \Delta T_X^{\circ}(j,q) \cdot C_{PAL}^{\circ}\} \cdot K_{AAl} + \\ & \{G_{охл}(i,f) \cdot \Delta T_X(i,f) \cdot C_{Рохла} - G_{охл}^{\circ}(j,q) \cdot \Delta T_X^{\circ}(j,q) \cdot C_{Рохла}^{\circ}\} \cdot K_{Aохл} + \sum_{x=1}^m \{G_{лег}(i,f,x) \cdot \\ & \Delta T_{\phi}(i,f,x) \cdot C_{рлег}(x) - G_{лег}^{\circ}(j,q,x) \cdot \Delta T_{\phi}^{\circ}(j,q,x) \cdot C_{рлег}^{\circ}(x)\} \cdot K_{Алег}(x) + \{G_{пор}(i,f) \cdot \\ & \Delta T_X(i,f) \cdot C_{Рпор} - G_{пор}^{\circ}(j,q) \cdot \Delta T_X^{\circ}(j,q) \cdot C_{Рпор}^{\circ}\} \cdot K_{Апор} + \{K_{N2}^B \cdot [Q_{N2}^B(i,f) - \\ & - Q_{N2}^{OB}(j,q)]\} \cdot K_{AN2}^B + \{K_{N2}^H \cdot [Q_{N2}^H(t_{KH}(i,f-1), t_{HH}(i,f)) - Q_{N2}^{OH}(t_{KH}^{\circ}(j,q- \\ & 1), t_{HH}^{\circ}(j,q))]\} \cdot K_{AN2}^H + \{K_{ЭД} \cdot \Delta t_A(\gamma, r)\} \cdot K_{AЭД} + \{K_{ФК} \cdot \Delta v_H(i,j) \cdot \Delta t_A(\gamma, r)\} \cdot K_{AФК} + K_{ОТХ} \cdot \\ & \{V_{ог}[t_{KH}(i,f-1), t_{HH}(i,f)] - V_{ог}[t_{KH}^{\circ}(j,q-1), t_{HH}^{\circ}(j,q)]\} \cdot K_{АОТХ} + \{G_{CaO}(i) \cdot \Delta T(i,f) \cdot \\ & C_{PCaO} \cdot K_{\%CaO} - G_{CaO}^{\circ}(i) \cdot \Delta T^{\circ}(i,f) \cdot C_{PCaO}^{\circ} \cdot K_{\%CaO}^{\circ}\} \cdot K_{ACaO} + \{G_{CaF2}(i) \cdot \Delta T(i,f) \cdot C_{PCaF2} \cdot K_{\%CaF2} - \\ & G_{CaF2}^{\circ}(i) \cdot \Delta T^{\circ}(i,f) \cdot C_{PCaF2}^{\circ} \cdot K_{\%CaF2}^{\circ}\} \cdot K_{ACaF2} + \{G_{FeSi}(i) \cdot \Delta T(i,f) \cdot C_{PFeSi} - G_{FeSi}^{\circ}(i) \cdot \\ & \Delta T^{\circ}(i,f) \cdot C_{PFeSi}^{\circ}\} \cdot K_{AFeSi} + \{G_{Kокс}(i) \cdot \Delta T(i,f) \cdot C_{PKокс} - G_{Kокс}^{\circ}(i) \cdot \Delta T^{\circ}(i,f) \cdot C_{PKокс}^{\circ}\} \cdot K_{A- \\ & Kокс} + \{G_{SiMn}(i) \cdot \Delta T(i,f) \cdot C_{PSiMn} - G_{SiMn}^{\circ}(i) \cdot \Delta T^{\circ}(i,f) \cdot C_{PSiMn}^{\circ}\} \cdot K_{ASiMn} + \{G_{FeMn}(i) \cdot \\ & \Delta T(i,f) \cdot C_{PFeMn} - G_{FeMn}^{\circ}(i) \cdot \Delta T^{\circ}(i,f) \cdot C_{PFeMn}^{\circ}\} \cdot K_{AFeMn} + \{G_{Al}(i) \cdot \Delta T(i,f) \cdot C_{PAL} - \\ & G_{Al}^{\circ}(i) \cdot \Delta T^{\circ}(i,f) \cdot C_{PAL}^{\circ}\} \cdot K_{AAl} + \{G_{охл}(i) \cdot \Delta T(i,f) \cdot C_{Рохла} - G_{охл}^{\circ}(i) \cdot \Delta T^{\circ}(i,f) \cdot C_{Рохла}^{\circ}\} \cdot K_{A- \\ & охл} + \{G_{лег}(i) \cdot \Delta T(i,f) \cdot C_{рлег} - G_{лег}^{\circ}(i) \cdot \Delta T^{\circ}(i,f) \cdot C_{рлег}^{\circ}\} \cdot K_{Алег} + \{G_{пор}(i) \cdot \Delta T(i,f) \cdot C_{Рпор} - \\ & G_{пор}^{\circ}(i) \cdot \Delta T^{\circ}(i,f) \cdot C_{Рпор}^{\circ}\} \cdot K_{Апор} + A, \end{aligned} \quad (2)$$

где $A = K_{N2I}^H \cdot [I_{3N2}^H(i,f) \cdot t_H(i,f) - I_{N2}^{OH}(j,q) \cdot t_H(j,q)] \cdot K_{AN2I}^H + K_{ОТХ}^T \cdot$

$$[V_{3ог}(i,f) \cdot t_H(i,f) - V_{ог}^{\circ}(j,q) \cdot t_H(j,q)] \cdot K_{АОТХ} + K_{ФК}^T \cdot [\angle(i) \cdot t_H(i,f) -$$

$$\angle(j) \cdot t_H(j, q)] \cdot K_{\text{АФК}};$$

$$\Delta T(i, f) = T_3(i, f) - T_H(i, f); \Delta T^\circ(j, q) = T_K^\circ(j, q) - T_H^\circ(j, q);$$

$$\Delta T_X(i, f) = T_3(i, f) - T_{\text{ОКР}}(i, f); \Delta T_X^\circ(j, q) = T_K^\circ(j, q) - T_{\text{ОКР}}^\circ(j, q);$$

$$\Delta T_\Phi(i, f, x) = T_3(i, f) - T_1(i, f, x);$$

$$\Delta T_\Phi^\circ(j, q, x) = T_K^\circ(j, q) - T_1^\circ(j, q, x);$$

$$\Delta t_H(i, j, f, q) = t_H(i, f) - t_H^\circ(j, q);$$

$$\Delta t_A(\gamma, r) = [t_{\text{НН}}(\gamma) - t_{\text{КН}}(\gamma - 1)] - [t_{\text{НН}}^\circ(\gamma - r) - t_{\text{КН}}^\circ(\gamma - r - 1)];$$

где i – номер данной плавки, режим нагрева которой рассчитывается;

j – номер плавки, нагрев которой принят за образцовый;

f – код вида нагрева (по ходу обработки плавки на АКЭС);

x – номер легирующего;

m – общее количество возможных легирующих согласно сортамента выплавляемых сталей;

$G_C(i)$, $G_{Co}(j)$ – масса стали на данной i -й и на j -й образцовой плавке.

Значок « \circ » над символом означает «образцовая»;

$G_{CaO}(i, f)$, $G_{CaOo}(j, q)$ – масса извести на i -й плавке, относящаяся к данному нагреву, которую предстоит отдать после последнего замера температуры стали и, соответственно, масса извести на j -й образцовой плавке, отданная после осуществления q -го нагрева.

Далее – аналогично для следующих параметров: $G_{CaF_2}(i, f)$, $G_{CaF_2}^\circ(j, q)$ – плавикового шпата; $G_{FeSi}(i, f)$, $G_{FeSi}^\circ(j, q)$ – FeSi (75% Si); $G_{\text{Кокс}}(i, f)$, $G_{\text{Кокс}}^\circ(j, q)$ – кокса; $G_{SiMn}(i, f)$, $G_{SiMn}^\circ(j, q)$ – SiMn; $G_{FeMn}(i, f)$, $G_{FeMn}^\circ(j, q)$ – FeMn; $G_{Al}(i, f)$, $G_{Al}^\circ(j, q)$ – Al; $G_{\text{лег}}(i, f, x)$, $G_{\text{лег}}^\circ(j, q, x)$ – x -го легирующего; $G_{\text{охл}}(i, f)$, $G_{\text{охл}}^\circ(j, q)$ – охладителя (сечки); $G_{\text{пор}}(i, f)$, $G_{\text{пор}}^\circ(j, q)$ – порошка, вдуваемого через фурму.

В числе других обозначений: $H_{\text{ПШ}}(i)$, $H_{\text{ПШ}}^\circ(j)$ – высота печного шлака в ковше на i -й плавке и на j -й образцовой; $\rho_{\text{ПШ}}$ – средняя плотность печного шлака; S_K – средняя площадь зеркала шлака; $\Delta T(i, f)$ – диапазон изменения температуры f -го нагрева стали и шлака на i -й плавке; $T_3(i, f)$, $T_H(i, f)$ – заданная и начальная температуры f -го нагрева i -й плавки; $\Delta T^\circ(j, q)$ – диапазон изменения температуры q -го нагрева стали и шлака на образцовой j -й плавке; $T_K^\circ(j, q)$, $T_H^\circ(j, q)$ – конечная фактическая и начальная температуры q -го нагрева стали и шлака на j -й образцовой плавке; $\Delta T_X(i, f)$ – диапазон изменения температуры сыпучих добавок на i -й плавке, предполагаемых к отдаче в ковш после f -го нагрева; $T_{\text{ОКР}}(i, f)$ – температура окружающей среды после f -го нагрева i -й плавки; $\Delta T_X^\circ(j, q)$ – диапазон изменения температуры сыпучих добавок на j -й плавке, отданных в ковш после q -го нагрева; $T_{\text{ОКР}}^\circ(j, q)$ – температура окружающей среды после q -го нагрева образцовой j -й плавки; $\Delta T_\Phi(i, f, x)$ – диапазон изменения температуры x -й легирующей добавки на i -й плавке, предполагаемой к отдаче в ковш после f -го нагрева; $T_1(i, f, x)$ – исходная температура x -й легирующей добавки, предполагаемой к отдаче в ковш на i -й плавке после f -го нагрева; $\Delta T_\Phi^\circ(j, q, x)$ – диапазон изменения температуры x -й легирующей добавки на образцовой j -й плавке, отданной в ковш после q -го нагрева; $t_{\text{НН}}(i, f)$, $t_{\text{НН}}^\circ(j, q)$ – прогнозируемый момент времени на-

чала f -го нагрева на i -й и фактический – q -го нагрева на образцовой j -й плавке; $t_{KH}(i, f - 1)$, $t_{KH}^{\circ}(j, q - 1)$ – момент времени окончания $(f - 1)$ -го нагрева на i -й и $(q - 1)$ -го нагрева образцовой j -й плавке; γ – порядковый номер f -го нагрева i -й плавки на АКОС. Счет γ ведется независимо от номеров плавков, на которых производится выпечная обработка; $t_{HH}(\gamma)$ – прогнозируемое время начала рассчитываемого f -го нагрева: $t_{HH}(\gamma) = t_{HH}(i, f)$; $t_{KH}(\gamma - 1)$ – время окончания предыдущего для АКОС нагрева (возможно при обработке предыдущей плавки); r – количество нагревов на АКОС, произведенных со времени q -го нагрева на j -й образцовой плавке; $t_{HH}^{\circ}(\gamma - r)$ – время начала $(\gamma - r)$ -го нагрева на АКОС; $t_{KH}^{\circ}(\gamma - r - 1)$ – время окончания $(\gamma - r - 1)$ -го нагрева на АКОС; $\Delta t_H(i, j, f, q)$ – небаланс времени f -го нагрева данной i -й и q -го нагрева на j -й образцовой плавке. Другими словами, это искомое изменение времени f -го нагрева в сравнении с q -м нагревом на j -й образцовой плавке; $\Delta t_A(\gamma, r)$ – отклонение интервала времени от предыдущего нагрева до предстоящего относительно соответствующего интервала времени на образцовой плавке; $t_H(i, f)$ – время f -го нагрева i -й плавки; $t_H^{\circ}(j, q)$ – время q -го нагрева j -й образцовой плавки; $Q_{N_2}^B(i, f)$ – прогнозируемый интегральный расход азота на продувку i -й плавки сверху после f -го до $(f+1)$ -го нагрева. При этом постулируется неизменность режима продувки через фурму относительно j -й образцовой плавки; $Q_{N_2}^{OB}(j, q)$ – интегральный расход азота при продувке образцовой j -й плавки сверху после q -го нагрева; $Q_{N_2}^H[t_{KH}(i, f - 1), t_{HH}(i, f)]$ – прогнозируемый интегральный расход азота на продувку i -й плавки снизу в период времени с момента окончания предыдущего $(f - 1)$ -го и до начала рассчитываемого f -го нагрева; $Q_{N_2}^{OH}[t_{KH}^{\circ}(j, q - 1), t_{HH}^{\circ}(j, q)]$ – интегральный расход азота на продувку j -й образцовой плавки снизу в аналогичный период времени q -го нагрева; $I_{3N_2}^H(i, f)$, $I_{N_2}^{OH}(j, q)$ – заданное на i -й и фактическое на j -й образцовой плавке значение интенсивности данного дутья в течение всего времени соответственно f -го и q -го нагрева; $V_{3OG}(i, f)$, $V_{OG}^{\circ}(j, q)$ – заданное на i -й и фактическое на j -й образцовой плавке значение расхода отходящих газов в течение всего времени соответственно f -го и q -го нагрева; $V_{OG}[t_{KH}(i, f - 1), t_{HH}(i, f)]$ – фактическое на i -й плавке значение расхода отходящих газов в период времени от окончания предыдущего $(f - 1)$ -го и до начала рассчитываемого f -го нагрева; $V_{OG}^{\circ}[t_{KH}^{\circ}(j, q - 1), t_{HH}^{\circ}(j, q)]$ – фактическое на j -й образцовой плавке значение расхода отходящих газов в период времени от окончания предыдущего $(q - 1)$ -го и до начала рассчитываемого q -го нагрева; $\Delta v_H(i, j) = L(i) - L(j)$; $L(i)$, $L(j)$ – номер плавки в кампании ковша с i -й и j -й плавкой; $C_{PC} = C_{PC} \{T_3(i, f), T_H(i, f), [C]_C(i, f)\}$ – среднеинтегральная в диапазоне температур от $T_H(i, f)$ до $T_3(i, f)$ при известном значении углерода в стали $[C]_C$ удельная теплоемкость стали при постоянном давлении для f -го нагрева i -й плавки; $C_{PC}^{\circ} = C_{PC}^{\circ} \{T_K^{\circ}(j, q), T_H^{\circ}(j, q), [C]_C^{\circ}(j, q)\}$ – среднеинтегральная в диапазоне температур от $T_H^{\circ}(j, q)$ до $T_K^{\circ}(j, q)$ при известном значении углерода в стали $[C]_C^{\circ}$ удельная теплоемкость стали при постоянном давлении для q -го нагрева j -й плавки; $C_{PШ} = C_{PШ} [T_3(i, f), T_H(i, f)]$ – среднеинтеграль-

ная в диапазоне температур от $T_H(i, f)$ до $T_3(i, f)$ удельная теплоемкость печного шлака при постоянном давлении для f -го нагрева i -й плавки; $C_{P\Pi\Pi\Pi}^{\circ} = C_{P\Pi\Pi\Pi}^{\circ} [T_K^{\circ}(j, q), T_H^{\circ}(j, q)]$ – среднеинтегральная в диапазоне температур от $T_H^{\circ}(j, q)$ до $T_K^{\circ}(j, q)$ удельная теплоемкость печного шлака при постоянном давлении для q -го нагрева j -й плавки; $C_{PCaO} = C_{PCaO} [T_3(i, f), T_{OKP}(i, f)]$ – среднеинтегральная в диапазоне температур от $T_{OKP}(i, f)$ до $T_3(i, f)$ удельная теплоемкость CaO при постоянном давлении для f -го нагрева i -й плавки; $C_{PCaO}^{\circ} = C_{PCaO}^{\circ} [T_K^{\circ}(j, q) - T_{OKP}^{\circ}(j, q)]$ – среднеинтегральная в диапазоне температур от $T_{OKP}^{\circ}(j, q)$ до $T_K^{\circ}(j, q)$ удельная теплоемкость CaO при постоянном давлении для q -го нагрева j -й плавки.

По аналогии с C_{PCaO} и C_{PCaO}° : C_{PCaF2} , C_{PCaF2}° – плавикового шпата; C_{PFeSi} , C_{PFeSi}° – ферросилиция (75% Si); $C_{PKокс}$, $C_{PKокс}^{\circ}$ – коксика; C_{PSiMn} , C_{PSiMn}° – силикомарганца; C_{PFeMn} , C_{PFeMn}° – ферромарганца; C_{PAL} , C_{PAL}° – алюминия; $C_{Pохл}$, $C_{Pохл}^{\circ}$ – охладителя (сечки); $C_{Pлег}(x)$, $C_{Pлег}^{\circ}(x)$ – x -го легирующего; $C_{пор}$, $C_{пор}^{\circ}$ – порошковых материалов, вдуваемых через фурму; $K_{\%CaO}$ – процентное содержание CaO в извести; $K_{\%CaF2}$ – процентное содержание CaF2 в плавиковом шпате; $K_{N_2}^B$ – постоянный коэффициент передачи по каналу «Изменение интегрального расхода азота на продувку сверху в период времени от f -го до $(f+1)$ -го нагрева – изменение расходуемого количества тепла»; $K_{N_2}^H$ – постоянный коэффициент передачи по каналу «Изменение интегрального расхода азота на продувку снизу в период времени с момента окончания предыдущего $(f-1)$ -го и до начала рассматриваемого f -го нагрева – изменение расходуемого количества тепла»; $K_{ФК}$, $K_{ФК}^T$ – постоянные коэффициенты передачи по каналу «Изменение охлаждения ковша с расплавом – изменение расходуемого количества тепла»; $K_{Эд}$ – постоянный коэффициент передачи по каналу «Изменение времени простоя электродов и крышки ковша в период между рассчитываемым f -м и предыдущим нагревами – изменение расходуемого количества тепла»; $K_{N_2I}^H$ – постоянный коэффициент передачи по каналу «Изменение интегрального расхода азота на продувку снизу во время f -го нагрева – изменение расходуемого количества тепла»; $K_{N_2I}^H \approx K_{N_2}^H$; $K_{ОТХ1}$ – при наличии данного дутья; $K_{ОТХ} = K_{ОТХ2}$ – при отсутствии данного дутья; $K_{ОТХ}$, $K_{ОТХ}^T$ – коэффициенты передачи по каналу «Изменение расхода отходящих газов – изменение расходуемого количества тепла»; K_{AC} , $K_{AP\Pi\Pi}$, K_{ACaO} , K_{ACaF2} , K_{AFeSi} , $K_{AKокс}$, K_{ASiMn} , K_{AFeMn} , K_{AAI} , $K_{AOХЛ}$, $K_{ALег}(x)$, $K_{Aпор}$, $K_{AN_2}^H$, $K_{AЭд}$, $K_{AФК}$, $K_{АОТХ}$, $K_{AN_2I}^H$, $K_{AФК}$, $K_{AN_2}^B$ – коэффициенты адаптации; $K_{ФК}^T = K_{ФК} \cdot (S1 - S2 \Delta T_{CP})$; $K_{ОТХ}^T = K_{ОТХ} \cdot (S1 - S2 \Delta T_{CP})$; $\Delta T_{CP} = \Delta T_{CP}(i, j, f, q) = T_{CP}(i, f) - T_{CP}^{\circ}(j, q)$; $T_{CP}(i, j) = (T_H(i, f) + T_3(i, f))/2$; $T_{CP}^{\circ}(j, q) = (T_H^{\circ}(j, q) + T_K^{\circ}(j, q))/2$; $S1, S2$ – постоянные коэффициенты.

Обозначим правую часть уравнения (2), за исключением А, через Б. Тогда

$$\Delta Q_P(i, f, j, q) = Б + А.$$

Величина $\Delta Q_P(i, f, j, q)$ представляет собой отклонение количества тепла, требуемого для выполнения f -го нагрева i -й плавки, по отношению к количе-

ству тепла, затраченному на q-й нагрев образцовой j-й плавки.

Приход тепла на образцовом q-м нагреве j-й плавки за счет электронагрева

$$Q_I^0(j, q) = 0,24 \cdot 3 \cdot \bar{U}_\delta^0(j, q) \cdot \bar{I}_\delta^0(j, q) \cdot \cos \bar{\varphi}_\delta^0(j, q) \cdot \eta(j, q) \cdot \hat{E}_{\text{АИД}}$$

где $\eta(j, q) = \eta_0 + \hat{E}_{\text{УЕД}} \left(\hat{I}_{\text{I}\delta}^0(j) + \hat{I}_{\text{C}\delta}^0(j, q) \right) / \bar{I}_g^0(j, q)$;

$\bar{U}_\delta^0(j, q)$ – среднее по множеству (по трем фазам А, В, С) и по времени (за время q-го нагрева: $t_{\text{H}}^0(j, q) = t_{\text{KH}}^0(j, q) - t_{\text{HH}}^0(j, q)$) фазное напряжение электрической дуги (далее везде – «дуги») по q-му нагреву j-й плавки;

$\bar{I}_\delta^0(j, q)$ – средняя по множеству и по времени фазная сила тока дуги по q-му нагреву j-й плавки; $\cos \bar{\varphi}_\delta^0(j, q)$ – средний по множеству и по времени коэффициент мощности дуги по q-му нагреву j-й плавки; $\bar{I}_g^0(j, q)$ – средняя по множеству и по времени длина дуги по q-му нагреву j-й плавки;

$$\bar{I}_g^0(j, q) = \left(\bar{U}_\delta^0(j, q) - \hat{E}_{\text{АЕ0}} \right) / \hat{E}_{\text{АЕ1}},$$

$K_{\text{ДЛЮ}}$, $K_{\text{ДЛП}}$ – постоянные коэффициенты;

$t_{\text{H}}^0(j, q)$ – время q-го нагрева j-й образцовой плавки;

$\eta(j, q)$ – КПД дуги на q-м нагреве j-й плавки;

$\eta_{\text{У}}$ – постоянная составляющая КПД дуги;

$K_{\text{ЭКР}}$ – коэффициент передачи по каналу «Относительное заглубление дуги в шлак – переменная составляющая КПД дуги»;

$H_{\text{ПШ}}^0(j)$ – высота печного шлака в ковше на j-й плавке;

$H_{\text{СШ}}^0(j, q)$ – высота синтетического шлака в ковше во время q-го нагрева j-й плавки: $H_{\text{СШ}}^0(j, q) = K_{\text{СШCaO}} \cdot G_{\text{CaO}}^0(j, q-1) + K_{\text{СШCaF}_2} \cdot G_{\text{CaF}_2}^0(j, q-1) + K_{\text{СШПОР}} \cdot G_{\text{ПОР}}^0(j, q-1)$; $G_{\text{CaO}}^0(j, q-1)$ – масса извести на j-й плавке, отданная в ковш до q-го нагрева; $G_{\text{CaF}_2}^0(j, q-1)$ – масса плавикового шпата на j-й плавке, отданного в ковш до q-го нагрева; $G_{\text{ПОР}}^0(j, q-1)$ – масса порошка, введенного в ковш до q-го нагрева j-й плавки; $K_{\text{СШCaO}}$ – коэффициент передачи по каналу «Масса извести, отданная в ковш на данной плавке до q-го нагрева – высота синтетического шлака в ковше»; $K_{\text{СШCaF}_2}$ – коэффициент передачи по каналу «Масса полевого шпата, отданного в ковш на данной плавке до q-го нагрева – высота синтетического шлака в ковше»; $K_{\text{СШПОР}}$ – коэффициент передачи по каналу «Масса порошка, введенного в ковш на данной плавке до q-го нагрева – высота синтетического шлака в ковше»; $K_{\text{АПР}}$ – коэффициент адаптации.

Рассмотрим случай f-го нагрева i-й плавки на том же электрорежиме, что и j-й образцовой во время q-го нагрева. Предполагаем при реализации будет обеспечена неизменность основных параметров режима:

$$\bar{U}_{\delta}(i, f) = \bar{U}_{\delta}^0(j, q); \quad \bar{I}_{\delta}(i, f) = \bar{I}_{\delta}^0(j, q); \quad \cos \bar{\varphi}_{\delta}(i, f) = \cos \bar{\varphi}_{\delta}^0(j, q).$$

Предполагаем, что изменится лишь КПД дуги, который для условий f -го нагрева i -й плавки примет вид:

$$\eta(j, q) = \eta_0 + \hat{E}_{\hat{Y}\hat{E}\hat{D}} = \left(\hat{I}_{\hat{I}\hat{D}}(i) + \hat{I}_{\hat{C}\hat{D}}(i, f) \right) / \bar{I}g^0(j, q),$$

где $H_{\text{ПШ}}(i)$ – высота печного шлака в ковше на i -й плавке;

$H_{\text{СШ}}(i, f)$ – высота слоя синтетического шлака в ковше во время f -го нагрева i -й плавки:

$$H_{\tilde{N}\tilde{O}}(i, f) = K_{\tilde{N}\tilde{O} \tilde{N}\tilde{a}\tilde{I}} \cdot G_{\text{CaO}}(i, f-1) + K_{\tilde{N}\tilde{O} \tilde{N}\tilde{a}\tilde{F}_2} \cdot G_{\text{CaF}_2}(i, f-1) + K_{\tilde{N}\tilde{O} \tilde{I}\tilde{D}} \cdot G_{\tilde{I}\tilde{D}}(i, f-1);$$

$G_{\text{CaO}}(i, f-1)$ – масса извести на i -й плавке, отданная до рассчитываемого f -го нагрева;

$G_{\text{CaF}_2}(i, f-1)$ – то же плавикового шпата;

$G_{\text{ПОР}}(i, f-1)$ – то же порошка.

Тогда приход тепла на i -й плавке за счет электронагрева (приведенный к условиям i -й плавки)

$$Q_{\text{П}}(i, f) = 0,24 \cdot 3 \cdot U_{\text{ф}}(i, f) \cdot I_{\text{ф}}(j, q) \cdot \cos \varphi_{\text{ф}}(i, f) \cdot t_{\text{Н}}(i, f) \cdot \eta(i, f) \cdot K_{\text{АПР}},$$

Количество тепла на f -й нагрев i -й плавки в этих условиях

$$Q_{\text{Н}}(i, f) = Q_{\text{П}}(i, f) + \Delta Q_{\text{Р}}(i, f, j, q) + \Delta Q_{\text{Н}}^{\text{ПР}},$$

где $Q_{\text{П}}(i, f) \geq 0$; $\Delta Q_{\text{Р}}(i, f, j, q) \in \{R\}$; $Q_{\text{Н}}(i, f) \in \{R\}$. $\Delta Q_{\text{Н}}^{\text{ПР}}$ – тепловой небаланс по предыдущему нагреву в данной группе коррекций.

Величина $\Delta Q_{\text{Р}}(i, f, j, q)$ подсчитывается по формуле (2), в которой A принимается равной нулю. Анализируется величина $Q_{\text{Н}}(i, f)$ и принимается решение о характере корректирующей операции по энтропии плавки.

При $-\xi_{\text{MIN}} \leq Q_{\text{Н}}(i, f) \leq \xi_{\text{MAX}}$ – коррекции энтропии в условиях последующей отдачи, учтенных в формуле (2), сыпучих и порошка не требуется.

При $-\xi_{\text{MIN}} > Q_{\text{Н}}(i, f)$ – в тех же условиях требуется охлаждение плавки.

При $Q_{\text{Н}}(i, f) > \xi_{\text{MAX}}$ – в тех же условиях требуется нагрев плавки.

Здесь ξ_{MIN} , ξ_{MAX} – минимальный и максимальный порог тепла, в пределах которых не требуется применения корректирующих операций по энтропии плавки.

Вывод. Предложена модель в приращениях к опорному уровню, предназначенная для корректировки температуры стали в ковше в системе управления верхнего уровня установки «Печь-ковш». Это позволяет избежать сложного учета существенных нелинейностей, присущих моделям в полных уровнях. В качестве опорных уровней используются значения параметров образцового нагрева.

СИНТЕЗ РАЦИОНАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ НАПЛАВКИ

ВЕРЕВКИН В.И., БРАГИН В.М., КРАВЦОВ Н.А.

*Кузбасская государственная педагогическая академия
г. Новокузнецк*

При формировании рациональной программы управления [1] для ℓ -ой наплавки в число определяющих признаков класса $K_{i\ell}$ ситуаций (рисунок 1) входят векторы: начального состояния детали – объекта наплавки $X_{o\ell}$; ограничений по условиям эксплуатации и по различным требованиям к свойствам наплавленного слоя и зоны термического влияния (ЗТВ) детали O_{ℓ} ; заданий со стороны заказчика на выходные характеристики наплавки (на качество наплавленной детали, стоимость и производительность процесса) Z_{ℓ} ; прогнозируемого изменения во времени внешних воздействий $W_{\ell}^u(t)$. Иногда в качестве задания могут выступать материал наплаваемого слоя $Z_{6\ell}$, свойства наплаваемого слоя $Z_{7\ell}$ и свойства ЗТВ $Z_{8\ell}$, а в качестве ограничений по управлению – ограничения по способу наплавки $U_{o2\ell}$, схема наплавки $U_{o3\ell}$, материал электродов $U_{o4\ell}$, род тока $U_{o5\ell}$, полярность тока $U_{o6\ell}$ и источник питания $U_{o7\ell}$. Однако чаще $Z_{6\ell} - Z_{8\ell}$, $U_{o2\ell} - U_{o7\ell}$ заказчиком не оговариваются и устанавливаются самой системой управления наплавкой.

В число определяющих признаков группы решений $\Gamma_{ji\ell}$ (рисунок 2) входят: класс ситуаций $K_{i\ell}$; заданные значения выходных величин объекта в конце наплавки $Y_{\kappa\ell}^*$; заданные значения выходных величин объекта перед началом наплавки $Y_{o\ell}^*$; начальные значения управлений $U_{o\ell}$; интегральные значения управлений U_{ℓ}^u , искомые программы управлений $U_{\ell}(t_{\ell})$, ограничения на область решений $O_{\ell}(t_{ji}^0)$. В качестве основных периодов наплавки рассматриваются периоды: предварительной подготовки детали под плавку; основной (наплавки); посленаплавочной обработки детали – улучшения свойств наплавленного слоя, зоны термического влияния (ЗТВ) и детали в целом.

По результатам проверки соответствия ожидаемых значений вектора выходной величины объекта $\hat{Y}_{\kappa\ell}$ его заданным значением $Y_{\kappa\ell}^*$ в блоке 9 принимаются решения об изменении управлений и группы решений $\Gamma_{ji\ell}$. При необходимости управление и $\Gamma_{ji\ell}$ корректируются в цикле до близкого совпадения $\hat{Y}_{\kappa\ell}$ и $Y_{\kappa\ell}^*$.

Если наплавка предполагается на ранее созданной установке, то способ наплавки $U_{o2\ell}$, схема наплавки $U_{o3\ell}$, материал неплавящихся электродов $U_{o4\ell}$, род тока $U_{o5\ell}$, полярность тока $U_{o6\ell}$ и источник питания $U_{o7\ell}$, как пра-

вило, заранее известны. Это существенно ограничивает область решений, внося большую определенность в признаки группы решений $\Gamma_{j\ell}$.

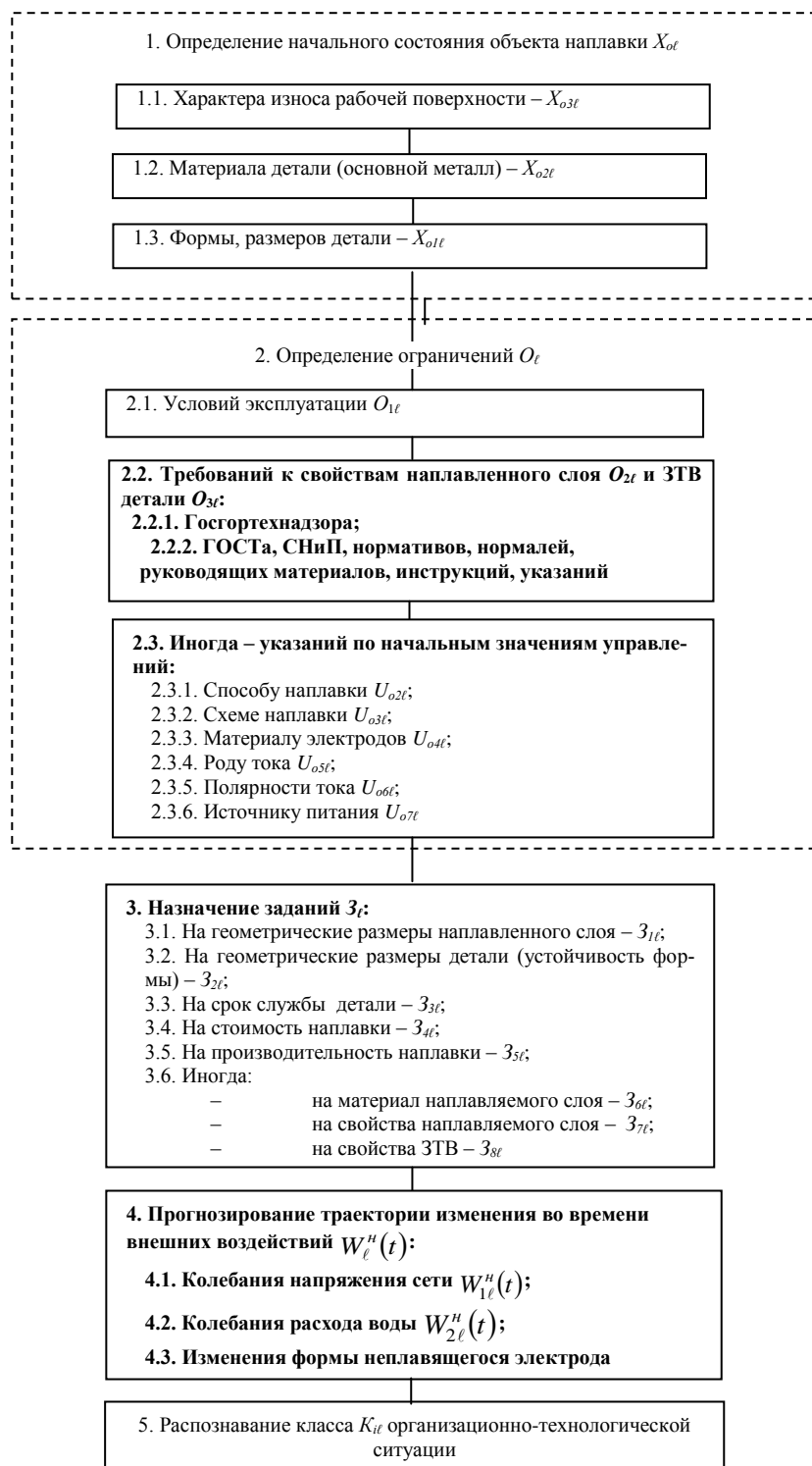


Рисунок 1 – Схема распознавания класса $K_{i\ell}$ организационно-технологической ситуации для предстоящей ℓ - й наплавки

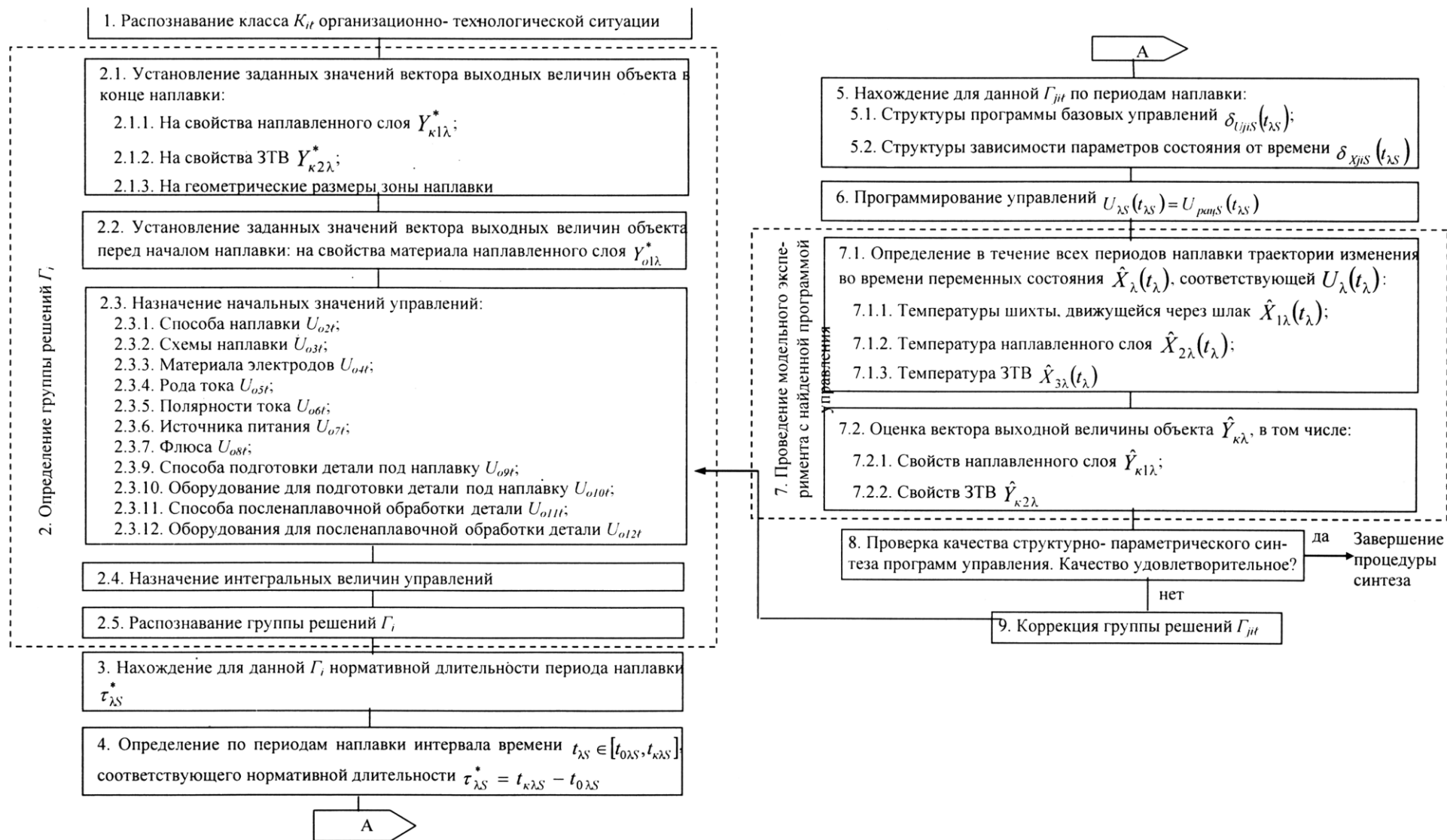


Рисунок 2 – Общая схема структурно-параметрического синтеза рациональных программ управления наплавкой

Материал наплавленного слоя $U_{o1\ell}$ вышестоящими системами управления, как правило, не задается. Он назначается для данного определенного класса организационно-технологических ситуаций $K_{i\ell}$ в функции заданных значений вектора выходных величин в конце наплавки: свойств наплавленного слоя $Y_{\kappa 1\ell}^*$; свойств зоны термического влияния $Y_{\kappa 2\ell}^*$; геометрических размеров зоны наплавки $Y_{\kappa 3\ell}^*$. В функции последних вначале находятся заданные значения вектора выходных величин перед началом наплавки – на свойства материала наплавленного слоя $Y_{o1\ell}^*$, а в функции $Y_{o1\ell}^*$ – сам материал $U_{o1\ell}$.

Поскольку выбор материала наплавленного слоя $U_{o1\ell}$ одновременно зависит и от многих прочих управлений в системе, влияющих на траекторию изменения температуры каждой точки наплавленного слоя ЗВТ во времени, то требуемые свойства $Y_{\kappa 1\ell}^*$, $Y_{\kappa 2\ell}^*$, $Y_{\kappa 3\ell}^*$, близкие к соответствующим значениям заданий, можно получить лишь при условии определения всех прочих управлений. В условиях размытости множества решений, сходимость решения достигается поиском в блоке 9 рисунка 2.

Предварительное назначение материала наплавленного слоя $U_{o1\ell}$ в функции $Y_{o1\ell}^*$, который в свою очередь является функцией $Y_{\kappa 1\ell}^* \div Y_{\kappa 3\ell}^*$, зависит от того, какими свойствами обладает тот или иной наплавочный материал и какие изменения они претерпевают в ходе наплавки.

Для обоснования численных значений управлений рациональной программы управления проводились эксперименты на реальных наплавочных установках. В качестве примера рассматривалась электрошлаковая наплавка (ЭШН) композиционных сплавов, состоящих из твердосплавных пластин марки ТН 20 и металла-связки марки ПГ СР-3. Наплавка производилась неплавящимся графитовым электродом.

Вначале изучался процесс нагрева и охлаждения наплавляемых твердосплавных пластин композиционного сплава. Дифференциальное уравнение опускания твердой частицы в виде шара в вязкой жидкости имеет вид [2]:

$$\frac{dv_{\kappa}}{dt} = g \frac{\rho_{\kappa} - \rho_{\text{ш}}}{\rho_{\kappa}} - C_x \frac{1}{2} \cdot \frac{3v_{\kappa}^2}{4R_{\kappa}}, \quad (1)$$

где v_{κ} – скорость опускания твердой частицы, м/с;

t – время, с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

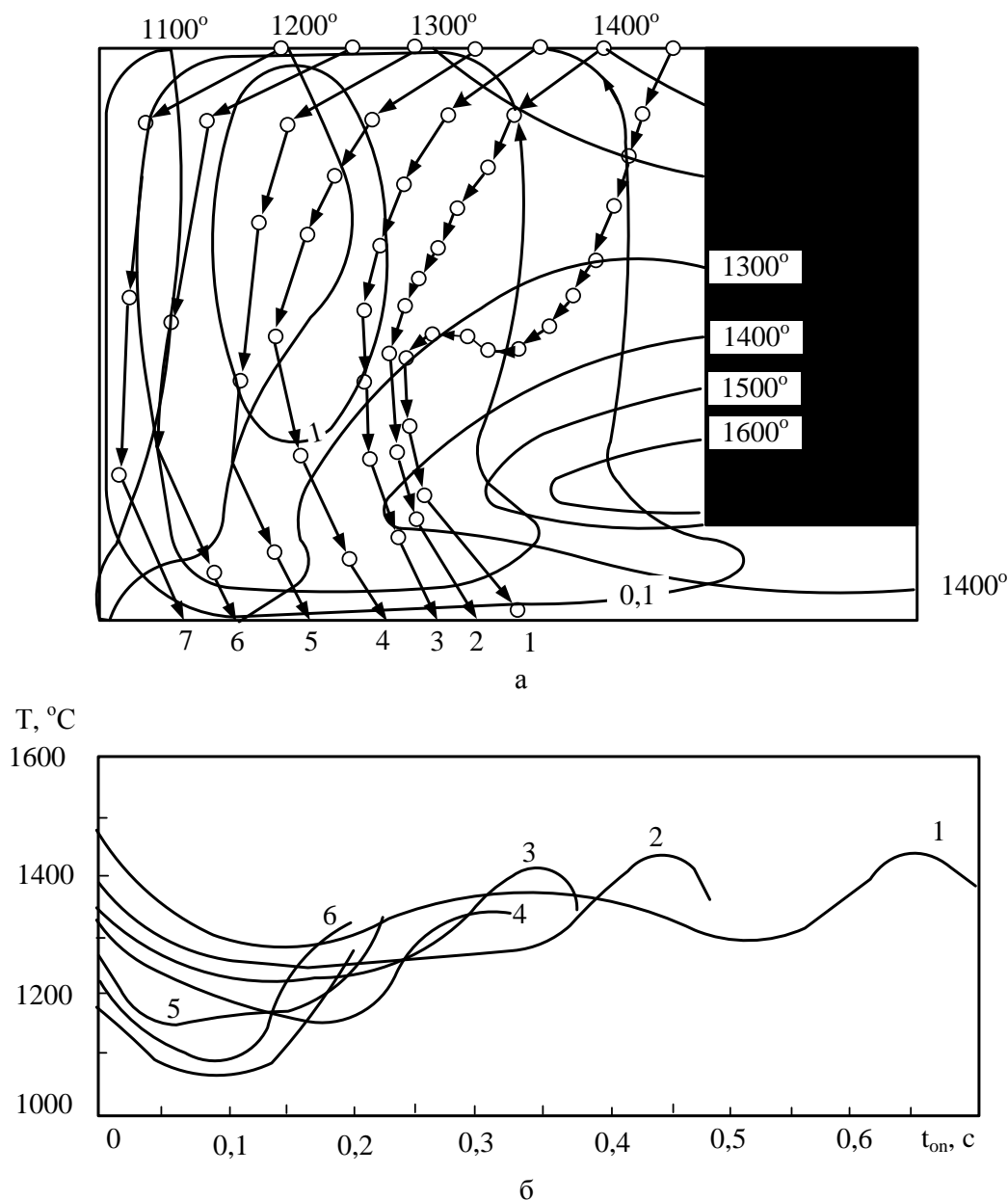
ρ_{κ} – плотность материала твердой частицы кг/м³;

$\rho_{\text{ш}}$ – плотность расплава шлака, кг/м³;

C_x – безразмерный коэффициент гидродинамического сопротивления;

R_{κ} – радиус твердой частицы, м.

Пример расчета траектории движения твердой частицы ТН 20 диаметром 2,4 мм для различных положений мест дозирования приведен на рисунке 3, а. На рисунке 3, б приведены графики изменения во времени температуры объемов шлака, через которые проходит твердая частица.



а – траектории движения частицы; б – изменение температуры по ходу движения частицы; 1÷7 – номера опытов: 1 – $r_g = 20$ мм, $r_c = 30$ мм, $\zeta_{омн} = 2,18$ (2,25); 2 – $r_g = 25$ мм, $r_c = 35$ мм, $\zeta_{омн} = 2,20$ (2,26); 3 – $r_g = 30$ мм, $r_c = 38$ мм, $\zeta_{омн} = 2,22$ (2,27); 4 – $r_g = 35$ мм, $r_c = 42$ мм, $\zeta_{омн} = 2,25$ (2,29); 5 – $r_g = 40$ мм, $r_c = 48$ мм, $\zeta_{омн} = 2,28$ (2,31); 6 – $r_g = 45$ мм, $r_c = 54$ мм, $\zeta_{омн} = 2,31$ (2,33); 7 – $r_g = 50$ мм, $r_c = 58$ мм, $\zeta_{омн} = 2,41$ (2,42)

Рисунок 3 – Движение твердой частицы через слой шлака

На установке ИМАШ-9-66 были воспроизведены температурные режимы рисунке 3, б с последующей выдержкой в течение 10 минут при температуре точки попадания твердой частицы в зону наплавки. Относительная износостойкость полученного сплава ТН 20 + ПГ СР-3 $\xi_{отн}$ приведена на рисунке 3, б. Большое влияние на качество наплавленного слоя оказывает, главным образом, факт пребывания твердых частиц при повышенной температуре. Для сравнения на установке ИМАШ-9-66 физически моделировались температурные режимы той же композиции без предварительного прохождения твердых частиц через слой шлака. Температурные режимы представляет собой быстрый нагрев и выдержку за те же 10 минут до температуры точки попадания твердой частицы в зону наплавки, отстоящую от оси симметрии на величину r_c в соответствии с рисунком 3, а. Относительная износостойкость КС для этих случаев приведена в скобках.

Наибольшее неблагоприятное влияние на свойства КС оказывает подача крупки вблизи поверхности электрода. При радиусе дозирования $r_g = 20$ мм снижение относительной износостойкости превышает 3 %. По мере удаления места дозирования от поверхности электрода, степень влияния прохождения шлака твердыми частицами резко падает и у поверхности кристаллизатора практически отсутствует.

При известной температуре плавления сплава-связки $T_{пл.св}$ оценивается оптимальная средняя температура T_{cp} в зоне сплавления твердосплавных пластин с основным металлом:

$$T_{cp} = T_{пл.св.} + (50 \dots 100)^\circ\text{C}. \quad (2)$$

Оптимальный диапазон изменения R_b задается, исходя из требований обеспечения устойчивости и высокой производительности процесса наплавки. Сопротивление балластных реостатов должно лежать в пределах 0,01 ÷ 0,05 Ом. При меньших значениях R_b внешняя характеристика источника питания становится пологопадающей, а процесс плавки неустойчивым [3]. Большие значения R_b приводят к необходимости использования весьма малых скоростей наплавки $V_n \leq 0,2$ м/ч, а значит и к низкой производительности процесса.

Как показывают результаты наших исследований в большей части рабочего диапазона изменения параметров режима ЭШН толстым неплавящимся графитовым электродом [5], направление движения потока жидкого шлака на свободной поверхности ванны – от электрода к кристаллизатору. С другой стороны при ЭШН тонким плавящимся электродом имеет место обратная картина: расплав шлака движется от кристаллизатора к электроду [3, 4]. Возникает вопрос: «При каких условиях для ЭШН неплавящимся электродом может возникнуть движение шлака от кристаллизатора к электроду»?

Для определения характера и численных значений скоростей движения расплавов металла и шлака широкое распространение получила кино-

съемка [3]. Ввиду труднодоступности исследуемых зон, высокой температуры и агрессивности шлака применение других средств измерения скоростей движения расплава затруднительно, хотя и возможно [4].

Эксперименты по исследованию влияния управлений на направление движения шлака нами проводились на установке, разработанной на базе трактора АДС-1000-2 в комплекте со сварочным выпрямителем ВСКМ-1000, включенным через балластные реостаты. Электрошлаковый процесс с использованием неплавящегося графитового электрода протекал при прямой полярности. Шлаковая ванна цилиндрической формы диаметром 130 мм и высотой 50 мм формировалась медным водоохлаждаемым кристаллизатором. Наплавляемая деталь представляла собой плиту из стали Ст3 толщиной 40 мм. Использовался флюс АН-8. Киносъемка производилась в видимых лучах при установившемся электрошлаковом процессе кинокамерой «Красногорск-2» через нейтральный светофильтр Н-4.

Для визуализации движения расплава шлака во время киносъемок свободную поверхность шлаковой ванны время от времени посыпали просеянной сухой крупной флюса АН-8 размером до 1 мм.

По движению крупки [3, 4] и прямым механическим измерением [4] было установлено, что при малом межэлектродном промежутке $H_m = 8$ мм и диаметре графитового электрода ниже 14 мм наблюдается смена направления движения расплава на свободной поверхности шлаковой ванны: во время наведения ванны поток движется от кристаллизатора к электроду (обратное направление), а во время формирования жидкой ванны направление изменяется на прямое – от электрода к кристаллизатору. Смена направления происходит по прошествии 50-70 % длительности операции τ_n наведения ванны: $\tau_c = (0,5 \div 0,7)\tau_n$. Меньшее значение коэффициента соответствует большему диаметру электрода.

Смена направления движения расплава может быть объяснена следующими причинами:

1. Малый диаметр электрода D_e вызывает большие электромагнитные силы (ЭМС) в объеме расплава вблизи зоны вхождения электрода в шлак.
2. Во время наведения ванны существование жидкой фазы ограничивается узким пространством в форме колодца.
3. В начале наведения ванны верхняя часть электрода холодная.

Во время наведения ванны, ее верхняя часть узкого проплавленного колодца заперта ЭМС для движения вверх нагретого расплава из нижней части. При полном распределении ванны горячие потоки могут обходить «запертые» зоны, отходя дальше от электрода. В начале наведения ванны это невозможно из-за узости колодца. Поэтому в объеме ванны образуется два торообразных контура движения расплава: верхний менее нагретой и нижний более нагретый. По мере разогрева электрода и ванны, верхний контур движения холодного шлака уменьшается по высоте. Частота его вращения падает и, наконец, меняет знак.

Дальнейшими исследованиями нами установлено, что при снижении диаметра электрода от 10 мм и ниже и межэлектродном промежутке не выше 8 мм обратное движение расплава шлака сохраняется в течение всей длительности операции наплавки. Такой же характер движения расплава имеет место при использовании плавящихся электродов. Главной причиной этого явления является отсутствия значительного перегрева плавящегося электрода в области его мокрого вылета. В свою очередь, пониженный прогрев электрода связан с высокой скоростью подачи плавящегося электрода.

Превалирующее направление движения расплава шлака при электрошлаковой наплавке неплавящимся электродом с дозированием шихты на свободную поверхность шлаковой ванны обуславливает вполне определенный характер изменения температуры частиц шихты по ходу их движения. Прямой характер движения шихты (рисунок 3) приводит как к достаточно равномерному распределению частиц по наплавляемой поверхности детали, так и к их равномерному постепенному разогреву хорошо прогретым объемом шлака. Обратное же движение шлака прижимает выпадающие из дозатора частицы относительно холодным (отдавшим часть тепла водоохлаждаемому кристаллизатору) шлаком к слабонагретому электроду. Однако, опускаясь вниз, частицы шихты попадают в зону активного пятна, отличающегося малыми размерами и высокой температурой. В результате большая часть твердых частиц композиции подвергается ударному перегреву, снижающему эксплуатационные свойства наплавленного слоя.

Класс ситуаций K_{il} и группа решений G_{jit} в конечном счете (опосредовано, неявно) определяют и превалирующее направление движения шлака в зоне наплавки. Однако следует помнить, что каждое такое направление предопределяет свою рациональную конструкцию дозирующих устройств. При прямом движении шлака дозатор располагают ближе к электроду, в то время как при обратном рекомендуется его удаление от электрода и применение либо подвижного, либо многоцелевого дозатора с переменной интенсивностью подачи шихты.

Вывод. Предложенная методика синтеза рациональной программы управления является универсальной и пригодной для различных способов наплавки деталей оборудования. Она опробована и положительно зарекомендовала себя при разработке технологии ЭШН клапанов горячего дутья доменных печей для Карагандинского металлургического комбината.

Библиографический список

1. Верёвкин, В.И. О формировании рациональных программ управления сталеплавильным процессом [Текст] / В.И. Веревкин // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1998. – № 12. – С. 18 – 24.
2. Веревкин, В.И. Воздействие режима электрошлаковой наплавки на кинетику нагрева твердых частиц / [Текст] / В.И. Веревкин, А.Н. Ростовцев, А.Ф. Сакун // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2004. – № 8. – С. 50-53.
3. Верёвкин, В.И. Движение расплава шлака на свободной поверхности шла-

- ковой ванны при ЭШН неплавящимся электродом / [Текст] / В.И. Верёвкин, В.А. Быстров // Автоматическая сварка. – 1993. – № 11. – С. 14-17.
4. Верёвкин, В.И. Измерение скорости движения расплава шлака при электрошлаковом процессе [Текст] / В.И. Верёвкин, В.А. Быстров, Г.М. Соломон, Б.И. Шишов // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1993. – № 2. – С. 18-20.
 5. Веревкин, В.И. Электромагнитные явления в шлаковой ванне в широком диапазоне изменения режима электрошлаковой наплавки [Текст] / В.И. Веревкин, А.Г. Падалко, Т.А. Атавин // Изв. вузов Черная металлургия. – 2003. – № 6. – С. 18-22.

УДК 519.216.3:681.5

АЛГОРИТМ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА СЛОЖНОСТИ

Евтушенко В.Ф., Кравцова О.А., Криволапова Л.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Функционирующие производственные объекты управления, поведение и состояние которых отображается совокупностью наблюдаемых во времени различного рода числовых показателей, находятся под влиянием большого числа разнородных контролируемых и неконтролируемых нестационарных воздействий. Происходящие под их влиянием соответствующие, порой значительные, изменения выходных воздействий и состояний объекта управления зачастую слабо проявляются на фоне эффектов неконтролируемых воздействий и потому обнаруживаются с большой задержкой во времени. Как следствие происходящего характерной особенностью наблюдаемых последовательностей данных, характеризующих изменение во времени выходных воздействий и переменных состояния, является их явно выраженная пространственно-временная нестационарность.

В этих условиях прогнозирование выходных воздействий и переменных состояния объектов управления должно осуществляться с использованием всех управляющих и контролируемых внешних воздействий и с явным учетом особенностей прогнозирования управляемых объектов [1]. Это является важным и при прогнозировании выходных воздействий и переменных состояния объектов в задачах контроля с целью предотвращения возможных аварийных ситуаций, связанных с выходом из строя элементов оборудования. Эффекты управляющих воздействий, связанные с ремонтом или заменой оборудования, проявляются в том, что функционирования алгоритмов прогнозирования резко прерывается и спустя некоторое время начинается с новыми начальными условиями.

Алгоритмы прогнозирования объектов управления, функционирующие при наличии неконтролируемых внешних воздействий, включают как обязательную часть алгоритмы экстраполяции приведенных к выходу объекта возмущений, либо при отсутствии контролируемых входных воздействий – самих выходных воздействий или переменных состояния объектов управления. Дальнейшее изложение материала рассматривается применительно к таким объектам управления, функционирование которых характеризуется отсутствием контролируемых и наличием неконтролируемых внешних воздействий, и оценивание выходных воздействий и переменных состояния объектов управления осуществляется с помощью алгоритмов экстраполяции. При этом под последовательностью данных или временным рядом данных (ВРД) будем понимать изменение во времени выходных воздействий и переменных состояния объектов управления.

Анализ контролируемых последовательностей данных непосредственно перед аварийными событиями для многих промышленных объектов управления показывает наличие структурных изменений в наблюдаемых данных, например, быстрый рост их значений, наложение на них ускоряющихся колебаний.

В основу алгоритма экстраполяции значений ВРД с различными структурными свойствами были положены:

- обобщенная схема прогнозирования выходных воздействий и переменных состояния объектов управления;
- сложностный подход к экстраполяции, использующий показатели структурной и динамической сложности последовательностей наблюдаемых данных [2].

Это предопределило следующие основные положения дальнейшего исследования:

- выделять структурно-однородные участки, заключенные между двумя соседними временными моментами структурных изменений наблюдаемых данных;
- перейти от исходной последовательности наблюдаемых данных в пространство информативных показателей (коэффициентов), содержащих индивидуальную характеристику соответствующего выделенного структурно-однородного участка;
- исходя из предположения, что совокупность индивидуальных коэффициентов в целом содержит сконцентрированную характерную информацию об объекте управления, ее целесообразно использовать для экстраполяции нестационарной последовательности наблюдаемых данных.

Для выделения структурно-однородных участков данных в алгоритме были использованы показатели (коэффициенты) сложности нестационарных последовательностей данных, в качестве которых рассмотрены энтропийный и динамический показатели сложности.

В работе [3] рассматривается метод определения энтропийного показателя сложности ВРД. Используемые в большинстве работ по анализу

сложных физических сигналов понятия сложности базируются, как правило, на энтропии динамических систем и шенноновском представлении. Можно сказать, что шенноновская энтропия есть коэффициент при асимптотике логарифма числа «типичных» последовательностей независимых случайных величин, имеющих одно и то же данное распределение вероятностей, при увеличении длины последовательности: $H(l) = -\sum_{l=1}^L p_l \log p_l$, где $l=1, L$ – порядковый подинтервал гистограммы.

Следующим рассматриваемым показателем сложности является динамический показатель сложности [4]. Определение динамического показателя «сложности» осуществляется путём итерационного исключения некоторого количества данных из исходной реализации. На каждой итерации оставшиеся данные подвергаются полиномиальной аппроксимации. На основе полученной аналитической зависимости восстанавливаются значения исходного анализируемого ВРД. Достижение максимально допустимого значения ошибки в ходе очередного восстановления исходного сигнала определяет момент прекращения исключения данных из выборки. По количеству оставшихся исходных данных анализируемого участка определяют показатель сложности: $S = \frac{1-1/n^*}{1-1/n}$, где n^* – число точек, оставшихся в усеченном ряде; n – число точек в исходной реализации анализируемого параметра.

Исследование свойства этих показателей отображать возрастающую сложность анализируемого сигнала проводилось на модельных временных рядах данных.

По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

- рассматриваемые показатели «сложности» отображают возрастающую сложность, например, увеличение высокочастотной составляющей ВРД ведет к увеличению величины показателя;

- при ограниченной разрядности вычислений для различных типов модельных временных рядов данных возможна неоднозначность этих показателей (получаются одинаковые значения показателей сложности), устранить которую можно увеличив число значимых знаков после запятой. С другой стороны, подобный результат вполне закономерен, разные по форме сигналы в аспекте восстановления могут быть одинаковыми по сложности;

- нет однозначного соответствия друг другу анализируемых показателей «сложности» для одинаковых временных последовательностей данных.

Шенноновская энтропия характеризует сложность распределения вероятностей, или другими словами богатство типопредставительных информационных признаков последовательности независимых случайных величин. Такая характеристика лишь опосредованно может использоваться для измерения сложности описания самого сигнала. Таким образом, попытка применения энтропийных понятий сложности как способа описания динамических систем, генерирующих сложные сигналы, несостоятельна.

В этом смысле предпочтительным является использование динамического показателя сложности (S), являющегося индивидуальной характеристикой конкретной временной последовательности данных, так как в аспекте составляющих компонент отражает структурную сложность, а динамика этих показателей выделенных структурно-однородных участков отражает структурно-временную сложность рассматриваемого сигнала.

Использование показателей сложности в задаче экстраполяции ВРД показана на примере натуральных данных, характеризующих изменение температуры футеровки горна доменной печи за период времени с 01.09.2002 по 15.09.2002 года. Оценивание будущих значений температуры футеровки горна доменной печи является одной из основных подзадач в задаче контроля состояния этой футеровки. Превышение фактической температуры футеровки ее допустимого значения может привести к аварийной ситуации. Интервал экстраполяции равен одним суткам, шаг квантования – один час. Использование здесь алгоритмов экстраполяции объясняется отсутствием контролируемых внешних факторов, влияющих на изменение температуры футеровки печи.

Структурная схема алгоритма представлена на рисунке 1. В состав рассматриваемого алгоритма входят следующие функциональные блоки:

- накопления начального объема анализируемых данных: x_0, \dots, x_n (n – выбирается в зависимости от типа и скоротечности исследуемого технологического процесса);

- проведения вейвлет-анализа с целью выявления «особых» точек, отождествляемых с моментами изменения в структуре временного ряда данных (по информации о которых осуществляется разбиение исследуемой последовательности на структурно однородные участки);

- определения показателя сложности выделенных структурно однородных участков исследуемой последовательности: $S = \frac{1-1/n^*}{1-1/n}$, где n^* – число данных, оставшихся в усеченном ряде; n – число данных в исходной реализации.

- расчет среднего приращения контролируемой технологической переменной для текущего структурно-однородного участка;

- полиномиальной аппроксимации и экстраполяции последовательности, отображающей динамику показателей сложности;

- экстраполирование анализируемой последовательности на установленный интервал времени, с использованием соответствующего среднего приращения контролируемой технологической переменной: $X_{\Delta}(l+n\Delta t) = X(l) + \Delta X \cdot n\Delta t$, где $X(l)$ – фактическое значение контролируемой технологической переменной, ΔX – среднее приращение на структурно-однородном участке, $n\Delta t$ – интервал экстраполирования.

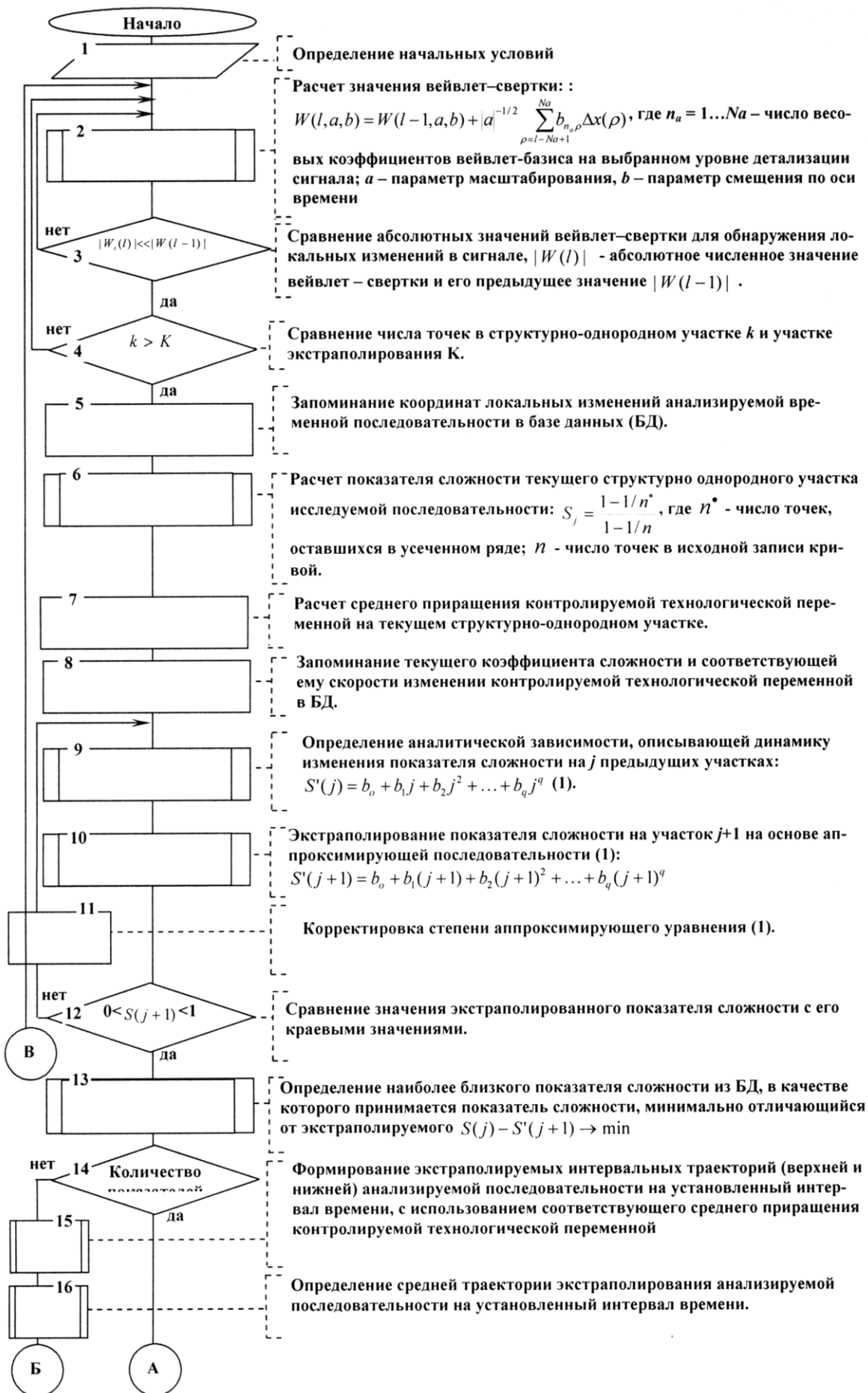




Рисунок 1 – Структурная схема алгоритма экстраполяции нестационарных последовательностей данных с использованием коэффициента сложности

Результаты функционирования приведенного алгоритма представлены на рисунке 2: а) – фактическая и экстраполированная реализации температуры футеровки горна доменной печи (горизонт 3, сечение 4); б) – фактическая и экстраполированная реализации температуры футеровки горна доменной печи (горизонт 5, сечение 3). Точность прогнозирования оценивалась по средней квадратической ошибке и составляет для реализаций, представленных на рисунке 2, а – 0,5, а на рисунке 2, б – 0,2. Алгоритм прогнозирования используется в системе контроля состояния горна доменной печи.

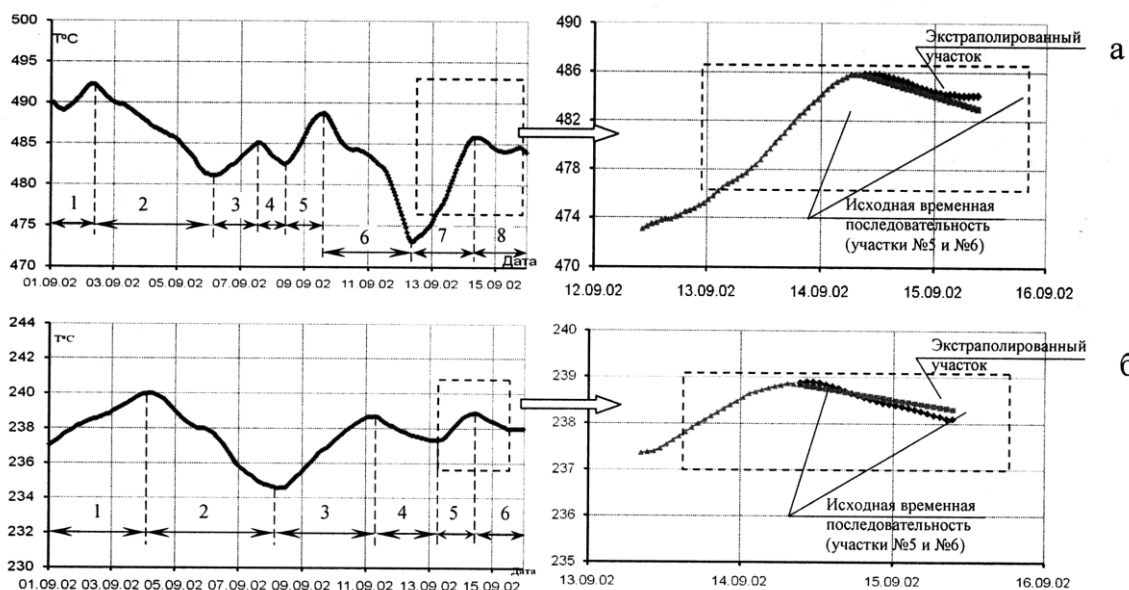


Рисунок 2 – Исследуемые временные последовательности данных

Библиографический список

1. Теория и практика прогнозирования в системах управления / С.В. Емельянов, С.К. Коровин, Л.П. Мышляев и др. – Кемерово; М.: Издат. объединение «Российские университеты»: Кузбассвузиздат – АСТШ, 2008. – 487 с.
2. Колмогоров А.Н. Теория информации и алгоритмов. – М.: Наука, 1987. – 232 с.
3. Мизин Д.А. Оценка энтропии динамической системы / Д.А. Мизин // Автоматика и телемеханика. – 2002. – № 11. – С. 183 – 189.
4. Дарховский Б.С. О подходе к оценке сложности кривых / Б.С. Дарховский, А.Я. Каплан, С.Л. Шишкин // Автоматика и телемеханика. – 2002. – № 3. – С. 134–140.

УДК 669

ЭФЕКТИВНОСТЬ КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

ИЗМАЙЛОВА Е.И.

*Кузбасский государственный технический университет
г. Кемерово*

Автоматизация научного и инженерного труда способствует интенсификации общественного производства и повышению его эффективности, ускорению темпов научно-технического прогресса. Достижения науки и техники закономерно усложнили производство и обусловили поиск новых путей в деле совершенствования его организации и управления, предопределили появление новой технической базы управления и, прежде всего, электронно-вычислительной техники (ЭВМ).[1]

При производстве изделий приходится решать сложный комплекс конструкторских, технологических и организационных задач.

Средства автоматизации применяются на всех этапах производства для решения многих административно-хозяйственных и технологических задач. Однако в настоящее время основной тенденцией в достижении высокой конкурентоспособности западных и российских предприятий является переход от отдельных замкнутых систем автоматизации и их частичного объединения к полной интеграции технической и организационной сфер производства. Такая интеграция связывается с внедрением модели компьютерно-интегрированного производства (КИП) (СІМ (Computer Integrated Manufacturing)).

На рисунке 1 показаны основные системы компьютерно-интегрированного производства (КИП).

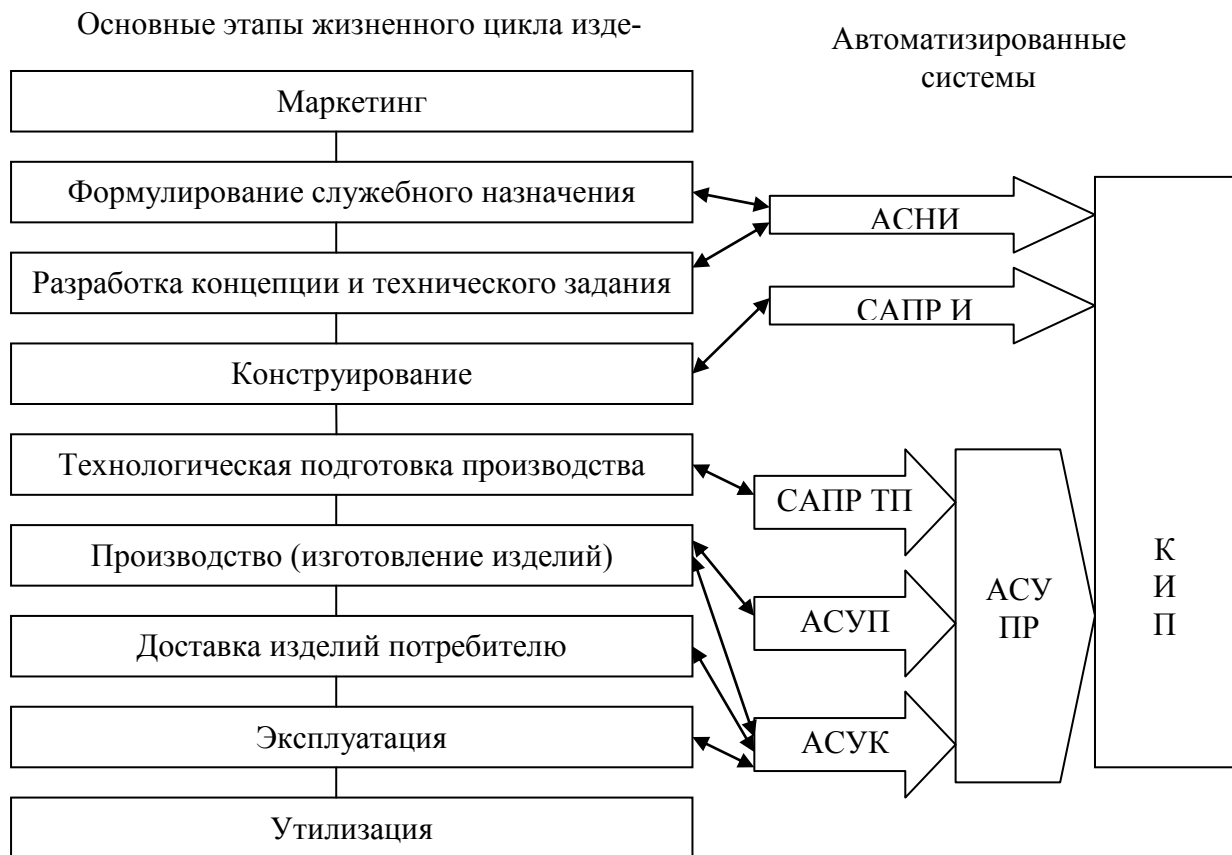


Рисунок 1. Основные системы компьютерно-интегрированного производства

Информационная структура компьютерно-интегрированного производства показана на рисунке 2.

В структуре компьютерно-интегрированного производства выделяются три основных иерархических уровня:

1. Верхний уровень (уровень планирования), включающий в себя подсистемы, выполняющие задачи планирования производства.

2. Средний уровень (уровень проектирования), включающий в себя подсистемы проектирования изделий, технологических процессов, разработки управляющих программ для станков с ЧПУ.

3. Нижний уровень (уровень управления) включает в себя подсистемы управления производственным оборудованием.

Построение компьютерно-интегрированного производства включает в себя решение следующих проблем:

- информационного обеспечения (отход от принципа централизации и переход к координированной децентрализации на каждом из рассмотренных уровней как путем сбора и накопления информации внутри отдельных подсистем, так и в центральной базе данных);

- обработки информации (стыковка и адаптация программного обес-

печения различных подсистем);

– физической связи подсистем (создание интерфейсов, т.е. стыковка аппаратных средств ЭВМ, включая использование вычислительных систем).

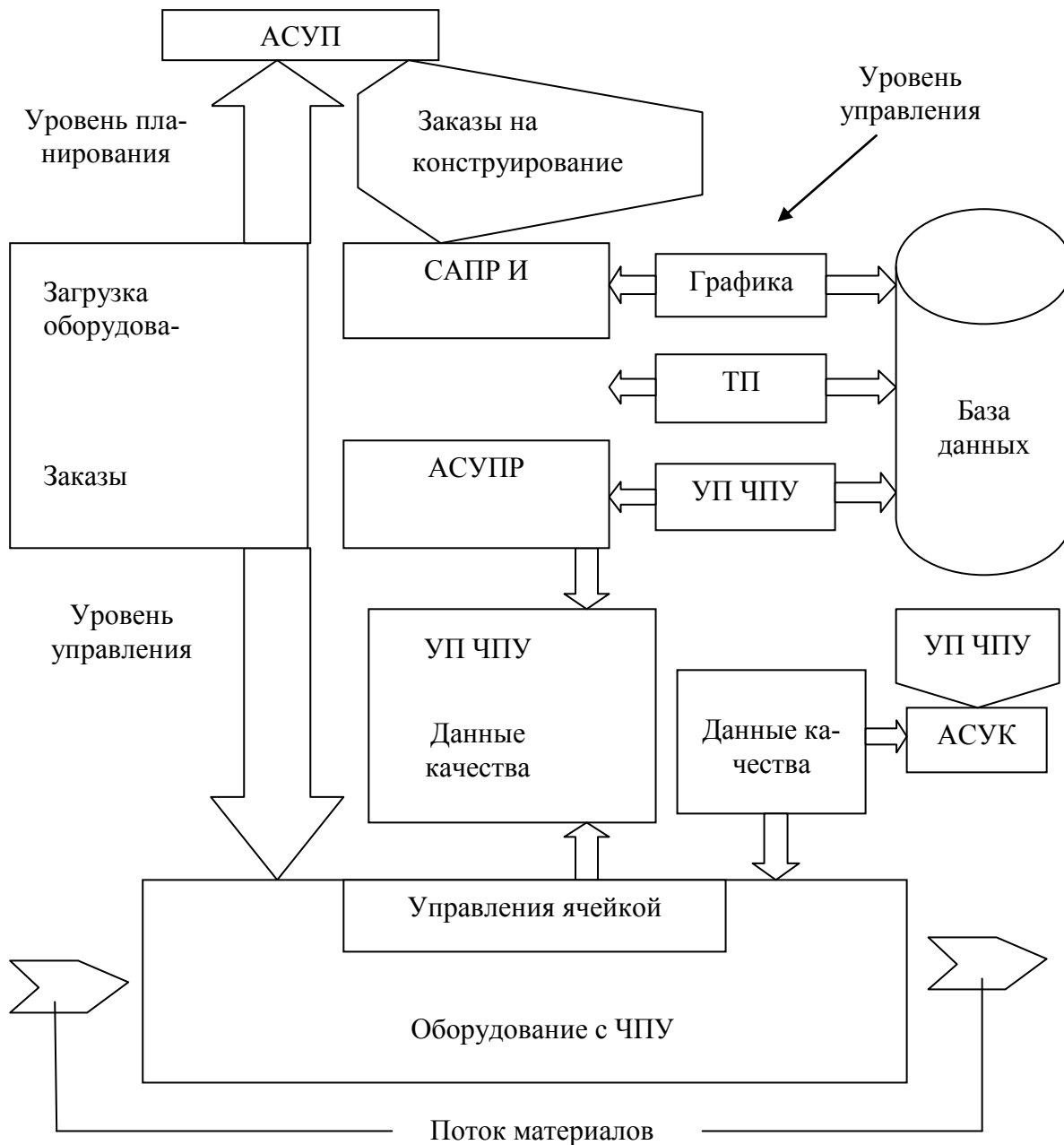


Рисунок 2 – Информационная структура компьютерно-интегрированного производства

Внедрение компьютерно-интегрированного производства значительно сокращает общее время прохождения заказов за счет:

- уменьшения времени передачи заказов с одного участка на другой и уменьшения времени простоя при ожидании заказов;
- перехода от последовательной к параллельной обработке;

– устранения или существенного ограничения повторяемых ручных операций подготовки и передачи данных (например, машинное изображение геометрических данных можно использовать во всех отделах, связанных с конструированием изделий).

В настоящее время опыт предприятий, внедряющих компьютерно-интегрированное производство, показал экономическую эффективность применения таких систем, но расширению их использования препятствует высокая стоимость рабочих мест. С другой стороны на предприятиях, эксплуатирующих отдельные системы автоматизации низкой стоимости, все более ощущается ограниченность их функциональных возможностей. Поэтому перед каждым машиностроительным предприятием рано или поздно возникает ряд проблем:

– какую систему выбрать в качестве базовой для наиболее эффективной автоматизации имеющегося комплекса конструкторско-технологических задач с учетом специфики конкретного предприятия;

– какие модули и в какой последовательности рационально приобретать и внедрять;

– как экономически определить эффект (или убытки) при различных вариантах автоматизации производства;

– какая реорганизация служб производства потребуется в связи с внедрением информационных технологий.

Очевидно, целью автоматизации производства является увеличение количества и качества проектируемых технологических процессов, а также сокращение сроков проектирования и количества инженеров. Таким образом, в конечном счете, целью автоматизации является получение экономического эффекта по сравнению с неавтоматизированным производством.

К сожалению, в настоящее время практически отсутствуют соответствующие научно-методические разработки.

В сфере автоматизации собственно производства материальных потоков в качестве научно-методической основы решения практических задач широко применяется теория производительности машин и труда (ТПМ), основы которой разработал Г.А. Шаумян в 1932 – 1933 гг.

Представляется целесообразным для обеспечения научно-методического единства применить основные идеи и математический аппарат этой теории к сфере КТПП (соответственно с учетом специфики этой сферы).

Если адаптировать математический аппарат ТПМ к сфере КТПП, то можно не только подсчитать экономическую эффективность КТПП, но и анализировать различные возможные варианты средств автоматизации, выбирать такие системы автоматизированного проектирования, которые являются оптимальными и обеспечивают максимальную производительность или наибольший экономический эффект в данных производственных условиях.

Для построения математической модели рассмотрим два варианта: базовый (ручное проектирование) и проектный (автоматизированное проекти-

рование).

Базовый вариант характеризуется следующими параметрами:

K_1 – стоимость оборудования (кульманы, столы и пр.);

Z – годовой фонд зарплаты (зарплата инженерно-технических рабочих);

m – годовые эксплуатационные затраты (расходные материалы, электроэнергия и пр.);

$Q_{г.}$ – объем разработанной конструкторско-технологической документации за год.

Амортизационные отчисления на восстановление стоимости и на ремонт (капитальный и средний) рассчитывают как процент от капитальной стоимости оборудования $K\alpha_1$, где α_1 – нормативный коэффициент амортизационных отчислений.

Затраты на текущий ремонт и межремонтное обслуживание принимаются также пропорциональными ожидаемой стоимости K в размере $K\alpha_2$.

Тогда себестоимость объема разработанной конструкторско-технологической документации за год по базовому варианту:

$$\tilde{N}_1 = \hat{E}_1(\alpha_1 + \alpha_2) + m + \zeta. \quad (1)$$

Так как ручная разработка конструкторско-технологической документации, как правило, не связана со значительными капиталовложениями, то их можно принять равными нулю. Тогда формула себестоимости по базовому варианту будет выглядеть следующим образом:

$$\tilde{N}_1 = m + \zeta. \quad (2)$$

Характеристики проектного варианта должны обеспечивать гарантированный экономический эффект. Поэтому будем использовать вариационные показатели, которые сейчас являются управляемыми (ϕ , δ , ε).

Тогда по проектному варианту:

K_2 – стоимость оборудования (стоимость вычислительной техники и CAD/CAM/CAE систем);

Z/ε – фонд зарплаты (зарплата инженерно-технических рабочих и программистов);

$Q_{г\phi}$ – объем разработанной конструкторско-технологической документации за год;

$m\delta\phi$ – годовые эксплуатационные затраты.

Тогда себестоимость годового выпуска по проектному варианту:

$$\tilde{N}_2 = \hat{E}_2(\alpha_1 + \alpha_2) + m\delta\phi + \zeta/\varepsilon. \quad (3)$$

Так как не нужно изменять объем разрабатываемой конструкторско-технологической документации (объем разрабатываемой конструкторско-технологической документации остается неизменным), то экономический эффект можно рассматривать не по минимуму приведенных затрат, а по себе-

стоимости.

Тогда годовой экономический эффект будет рассчитывать по формуле:

$$\dot{Y} = \tilde{N}_1 - \tilde{N}_2 = m + \zeta - ((\alpha_1 + \alpha_2)\hat{E}_2 + m\delta\phi + \zeta/\varepsilon), \quad (4)$$

$$\dot{Y} = m(1 - \delta\phi) + \zeta(1 - 1/\varepsilon) - (\alpha_1 + \alpha_2)\hat{E}_2. \quad (5)$$

Обозначим количество всех задач, решаемых компьютерно-интегрированным производством – N.

Тогда:

N_{CAD} – задачи, решаемые CAD – системами (2D и 3D моделирование, подготовка конструкторской документации);

N_{CAM} – задачи, решаемые CAM – системами (технологическая подготовка производства, подготовка управляющих программ для станков с ЧПУ, имитация обработки для контроля и редактирования УП);

N_{CAE} – задачи, решаемые CAE – системами (конечно-элементный анализ изделий, визуализация напряжений и деформаций конструкции, расчеты на прочность, динамический и кинематический анализы);

N_{PDM} – задачи, решаемые PDM – системами (техническая подготовка производства, создание технологической и нормативно-сметной документации, управление проектами и техническим документооборотом).

N_{НЕАВТОМ} – задачи, которые нельзя автоматизировать

Таким образом:

$$N = N_{CAD} + N_{CAM} + N_{CAE} + N_{PDM} + N_{\text{НЕАВТОМ}}. \quad (6)$$

Трудоемкость отдельно решаемой задачи равна T_i.

Тогда общая трудоемкость:

$$\dot{O} = \sum \dot{O}_i. \quad (7)$$

При автоматизации производства трудоемкость будет сокращаться в зависимости от количества автоматизированных задач, но одновременно увеличатся и капитальные затраты.

Если будет приобретена только система CAD, то капитальные затраты складываются из затрат на оборудование (K_{обор}) и стоимости CAD-системы (K_{CAD}).

$$K_2^{CAD} = K_{\text{обор}} + K_{CAD}. \quad (8)$$

Увеличение производительности произойдет в φ_{CAD} раз из-за сокращения времени на разработку чертежей и спецификаций. Соответственно и трудоемкость выполнения операции сократится в φ_{CAD} раз. Но так как увеличивать объем разрабатываемой конструкторско-технологической документации не требуется, следовательно можно сократить количество человек, занимающихся разработкой конструкторско-технологической документации в φ_{CAD} раз. Тогда и фонд заработной платы сократится в φ_{CAD} раз.

Годовой экономический эффект:

$$\dot{Y}_{CAD} = m(1 - \delta\phi_{CAD}) + \zeta(1 - 1/\phi_{CAD}) - 0,129K_2^{CAD}. \quad (9)$$

Если приобретать другой модуль или несколько модулей, то соответственно будет изменяться составляющая годового экономического эффекта – капитальные затраты K_2 и коэффициент роста производительности ϕ . Для определения коэффициента роста производительности ϕ нужно определить производительность при ручном проектировании и при автоматизированном проектировании. Для этого рассмотрим состояния работы технологов и конструкторов.

Возможны следующие состояния:

- конструктор (технолог) работает, решает задачи (t_p);
- конструктор (технолог) работает, осуществляет контроль выполненных заданий ($\sum t_k$);
- конструктор (технолог) работает, подбирает нормативно-справочную литературу ($\sum t_{i\bar{n}}$);
- конструктор (технолог) не работает, исправляет брак $\sum t_{a\bar{d}\bar{a}\bar{e}}$;
- конструктор (технолог) не работает по организационным причинам ($\sum t_{i\bar{d}\bar{a}}$).

Только первое состояние является производительным, остальное – потери. Существуют нормы времени на разработку конструкторско-технологической документации, поэтому время работы конструкторов и технологов известно. Значит, можно определить производительность работы конструкторов и технологов. Но так как в ходе конструкторско-технологической подготовке производства существуют потери, то они также должны быть учтены.

$$\sum t_n = \sum t_p + \sum t_k + \sum t_{i\bar{n}} + \sum t_{a\bar{d}\bar{a}\bar{e}} + \sum t_{i\bar{d}\bar{a}}. \quad (10)$$

Для учета брака удобнее всего использовать коэффициент выхода годной продукции λ . Тогда фактическая производительность:

$$Q_{\delta} = 1\lambda / (t_p + \sum t_n) \quad (11)$$

Использование средств автоматизации приведет к сокращению практически всех составляющих потерь, а также уменьшится процент брака. Следовательно, произойдет повышение производительности труда технологов и конструкторов. Однако сокращение потерь и брака зависит от того какая система автоматизации применяется и на какой стадии производства. Соответственно и фактическая производительность при применении различных систем автоматизации будет разной. Таким образом, определив капитальные затраты, сокращение трудоемкости и сокращение потерь и подставив их в формулу экономического эффекта для каждого конкретного случая,

можно определить наибольший экономический эффект для любого предприятия.

Библиографический список

1. Митрофанов С.П., Гульнов Ю.А., Куликов Д.Д. Автоматизация технологической подготовки серийного производства. – М.: Машиностроение, 1974. – 360 с.
2. Полетаев, В. А. Компьютерно-интегрированные производственные системы: учеб. пособие / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2006. – 199 с.
3. Полетаев, В. А. Основы управления качеством функционирования машин. – Кемерово: Изд-во Кузбасс. политехн. ин-та, 1993. – 233 с.
4. Полетаев, В. А. Управление качеством машин при проектировании и изготовлении // Вестник КузГТУ, 1997. – № 1.
5. Управление жизненным циклом продукции / А.Ф. Колчин, М.В. Овсяников, А.Ф. Стрекалов, С.В. Сумароков. – М.: Анахарсис, 2002. – 304 с.
6. Шаумян, Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов. – М.: Машиностроение, 1973. – 640 с.

УДК 681

ИНТЕРВАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА

КАРТАШОВ В.Я., ПОЛЯКОВА О.Р.

*Кемеровский государственный университет
г. Кемерово*

При проектировании алгоритмического обеспечения цифровых систем контроля и управления одной из основных проблем является проблема организации процесса выборки дискретных отсчетов аналоговых сигналов. Первостепенное внимание при этом следует уделять решению задачи повышения достоверности оценок информативных параметров аналоговых сигналов, которые отражают в обобщенной форме изменяющиеся свойства объекта управления. В качестве примера можно привести измеряемый сигнал, представляющий собой сумму информативной низкочастотной составляющей и информативной высокочастотной составляющей, которая, в частности, может указать на неустойчивость преобразующего канала.

Потеря информации при работе с сигналами, содержащими полезную высокочастотную составляющую, происходит в силу эффекта подмены частот при переходе от аналогового к цифровому его представлению [1]. При этом необходимо учитывать те основные факторы, которые должны быть учтены при выборе способа дискретизации:

– Ограниченность шага дискретизации Δt_{\min} возможностями используемых технических средств.

- Общее время преобразования и обработки значений сигнала в цифровой системе реального времени.
- Конечность временного интервала аналогового сигнала.
- Изменчивость внутренних свойств и внешних возмущений, воздействующих на объекты управления.

Обзор методов дискретизации позволил выделить следующие способы дискретизации аналоговых сигналов: регулярные точечные способы; нерегулярные точечные способы; регулярные групповые способы; нерегулярные групповые способы.

Анализ и тестовые исследования первых трех способов дискретизации позволил сделать вывод о том, что-либо они вообще не позволяют получать удовлетворительные оценки амплитудных характеристик высокочастотной составляющей сигнала в реальном времени, либо чувствительных к колебаниям частоты аналогового сигнала, поскольку изменение частоты во многих случаях требует нового определения шага дискретизации. Реализация же адаптации шага дискретизации в связи с изменениями частоты аналогового сигнала в рамках функционирующей цифровой системы контроля и управления ведет к значительному усложнению математического аппарата и алгоритмического обеспечения.

Поэтому естественно желание иметь такой способ дискретизации, реализация которого, с одной стороны позволила бы получать достоверную оценку амплитудных характеристик высокочастотной составляющей сигнала и, вместе с тем была бы устойчива к колебаниям частоты сигнала, вызванным изменениями внутренних свойств объекта управления. В работе предлагается нерегулярный групповой способ дискретизации, который включает в себя групповую дискретизацию аналогового сигнала с фиксированным числом отчетов в группе, с постоянным интервалом времени между группами. При этом дискретизация внутри группы организована на нерегулярных принципах: внутри за счет введения в форму, определяющую моменты времени дискретизации, случайного шага дискретизации h_n^{l+1} , равномерно распределенного на интервале $0 \leq h_n^{l+1} \leq \Delta t_0$, где Δt_0 – равномерный шаг дискретизации в группе, определенный граничной частотой дискретизирующего устройства. Таким образом, дискретизация внутри каждой группы осуществляется со случайным шагом в моменты времени

$$t_n^{l+1} = t_0 + (n - 1)\Delta t + 1 * \Delta t_0 + h_n^{l+1}, \quad (1)$$

где t_0 – время начала дискретизации. Межгрупповой шаг дискретизации Δt определяется в соответствии с временным интервалом $(\Delta t_{\min}, \Delta t_{\max})$, определяемым динамическими свойствами объекта;
 Δt_0 – равномерный шаг дискретизации в группе;
 $n = \{1, 2, 3, \dots\}$ – номер группы;

h_n^{l+1} – случайный шаг дискретизации в группе $l = 0, l - 1$ – номер отчета в группе.

В результате случайной дискретизации аналогового сигнала в моменты времени t_n^{l+1} в каждой группе получают значение сигнала $Y_n^1, Y_n^2, \dots, Y_n^l$. Среди полученных значений находят максимальное Y_n^{\max} , минимальное Y_n^{\min} и среднее $Y_n = \frac{Y_n^{\max} + Y_n^{\min}}{2}$. Полученные оценки Y_n^{\max} , Y_n^{\min} , Y_n будут соответствовать оценкам верхней и нижней огибающих высокочастотной составляющей и низкочастотной составляющей аналогового сигнала на момент времени $t_0 + (n - 1)\Delta t$.

Имитационное моделирование данного способа дискретизации и обработки аналогового сигнала было проведено на экспериментальной установке, состоящей из микро ЭВМ, имеющего устройство связи с объектом (УСО), генератора сигналов и осциллографа. Сравнение относительных долей достоверного оценивания амплитуды высокочастотной составляющей и значения низкочастотной составляющей аналогового сигнала полученного методом статистического моделирования способов нерегулярной (НГД) и регулярной (РГД) групповой дискретизации приведены в таблице 1.

Таблица 1

Способ дискретизации	Исследуемые частоты (ω)									
	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
РГД	0,95	0,95	0,85	0,5	0,75	0,85	0,8	0,55	0,8	0,75
НГД	1	0,95	0,95	0,9	0,95	0,9	0,95	0,85	0,95	0,95

Статистический анализ полученных данных [2] позволил в смысле значения доли достоверного определения значения сигнала и его параметров установить приоритетную последовательность групповых способов дискретизации: 1 групповой рандомизированный способ; 2 групповой способ с фиксированной рандомизацией; 3 групповой нерегулярный детерминированный способ; 4 групповой регулярный способ.

В практике в силу простоты реализации в прикладных и производственных задачах был использован групповой способ с фиксированной рандомизацией. В частности при диагностике аварийных и предаварийных ситуаций в производстве спецпластмасс использовались оценки Y_n^{\max} и Y_n^{\min} . Более того, такой способ дискретизации порождает интервальные исходные данные $[Y_n^{\min}, Y_n^{\max}]$, для которых разработаны эффективные и простые в реализации алгоритмы структурно-параметрической идентификации характеристик динамических объектов [3].

Библиографический список

1. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. Основные методы. – М.: Мир, 1982. – 428 с.
2. Карташов В.Я. Цифровые системы контроля с идентификацией динамических свойств и характеристик сложных объектов / Дисс. на соискание доктора технических наук. – Кемерово: КемГУ, 1997. – 505 с.
3. Карташов В.Я., Петрикевич Я.И., Ансол С.П. Интервальная структурно-параметрическая идентификация динамических объектов// Сборник докладов Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям SCM 2003. – СПб: изд-во СПб ГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. – 8 с.

УДК 681

ОСОБЕННОСТИ МНОГОЧАСТОТНОГО КВАНТОВАНИЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ

КАРТАШОВ В.Я., МАХАРЕВА О.А., САХНИН Д.Ю.

*Кемеровский государственный университет
г. Кемерово*

В современных системах автоматизации актуальной является задача осуществления многочастотной дискретизации по времени. Под многочастотным квантованием [1] понимаются системы, в которых А/Ц и/или Ц/А преобразования осуществляются с разной частотой, что вызвано рядом практически важных причин. До сих пор в значительном числе публикаций полагается одинаковая частота квантования, и лишь в частных случаях, когда квантователи синхронизированы, т.е. отношение их периодов есть рациональное число, доказана возможность такого способа квантования. Однако во многих практических задачах это невозможно. В частности, такие схемы квантования могут быть необходимы для систем со специальными звеньями передачи данных или особыми регистрирующими и воздействующими устройствами и полезны для улучшения характеристик систем, в которых измерения осуществляются на низких скоростях (например, при использовании лабораторных инструментов). Более того, в многочастотных системах легче контролировать их поведение между моментами квантования, в многомерных системах часто выгодны различные частоты квантования в различных контурах управления для уменьшения загрузки ЭВМ и улучшения числовых характеристик и, наконец, в многопроцессорных системах.

Как отмечается в [1], многочастотные методы приводят к сложным задачам, если имеется много квантователей с широким диапазоном периодов. В работе [3] проведено исследование взаимно однозначного соответствия между основной полосой s -плоскости и z -плоскостью (нулевой лист многолистной поверхности), которое определено из согласованного Z -

преобразования:

$$s = \frac{1}{\Delta t} \ln |z| + \frac{i}{\Delta t} \arg z, \quad (1)$$

где Δt – период дискретизации;

$i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица;

z и s – взаимосоответствующие точки.

Показано, что для каждого линеаризованного динамического объекта существует множество периодов дискретизации $\Delta t \in (\Delta t_{\min}, \Delta t_{\max})$, при котором это преобразование существует. Более того, в этом случае одному непрерывному объекту соответствует бесконечно много дискретных моделей. Эти модели эквивалентны между собой.

Из проведенных исследований следует, что если известна хотя бы одна дискретная модель, то можно перейти к другой модели с отличным шагом дискретизации. В этом случае, от одних значений характерных точек z_i (нулей и полюсов дискретной передаточной функции) нетрудно перейти к другим характерным точкам по соотношениям:

$$\begin{cases} |z_2| = |z_1| \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}, \\ \arg z_2 = \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} \arg z_1, \end{cases} \quad (2)$$

где Δt_1 и Δt_2 – два различных периода дискретизации.

Таким образом, при многочастотном квантовании можно использовать следующий алгоритм: зная для каждого динамического канала множество периодов дискретизации, можно использовать любой период, единственно необходимо, чтобы пересечение этих множеств было не пустым. Если требуется перейти к одному периоду дискретизации, то воспользовавшись соотношением (2) для периода дискретизации из пересечения, получаем модель в одном временном масштабе.

Многочисленные модельные исследования и решение прикладных задач подтвердили достоверность подхода.

Библиографический список

1. Остром К., Виттенмарк Б. Системы управления с ЭВМ. – М.: Мир, 1987. – 475 с.
2. Изерман Р. Цифровые системы управления. – М.: Мир, 1984. – 541 с.
3. Карташов В.Я. Анализ и исследование аппроксимационных свойств непрерывных дробей при решении задачи структурно-параметрической идентификации динамических объектов // Препринт № 22. – Барнаул, 1996.

ГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦИКЛА СОЗДАНИЯ ИЗДЕЛИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

ПОЛЕТАЕВ В.А.

*Кузбасский государственный технический университет
г. Кемерово*

Комплексная автоматизация производственных процессов – одно из главных направлений научно-технического прогресса в машиностроении, важнейший фактор повышения качества изготавливаемой продукции и производительности, а также улучшения условий труда. Научно-технический прогресс вносит коренные усовершенствования в технологию производства, техническую оснащенность предприятия современными средствами труда.

Главной особенностью современного этапа развития техники, в частности средств производства, является широкое использование вычислительной техники для автоматизации процессов умственного и физического труда. Практически речь идет о коренном изменении характера средств производства, означаящем, по существу, создание новой материально-технической базы общества [1].

Для эффективной работы в современных условиях предприятие должно обеспечивать автоматизацию всего ЖЦ изделия (маркетинг, формирование портфеля заказов, проектирование, конструкторская, технологическая, техническая и экономическая подготовка производства, планирование и оперативное управление производством, хранение, сбыт и др.) без значительного изменения в переходный период сроков подготовки продукции к производству и себестоимости продукции. В предельном случае может возникнуть такая ситуация, когда товар будет производиться только в том случае, если на него есть конкретный заказчик.

При классическом подходе к созданию изделия большая доля себестоимости изделия приходится на этапы конструкторской и технологической подготовки его производства. Следовательно, переход предприятия на работу по системе заказов возможен только при условии, что это соотношение кардинально изменится и себестоимость единичного изделия будет мало отличаться от себестоимости изделия, созданного в условиях массового производства.

При снижении количества производимых изделий в себестоимости каждого изделия возрастет та часть, которая приходится на этапы его разработки. Избежать этого можно путем уменьшения затрат на разработку изделия за счет использования систем автоматизированного проектирования.

Система автоматизации проектирования реализует возможности, предоставляемые на сегодняшний момент вычислительной техникой. К их чис-

лу относятся расчет объектов и проектируемых систем на прочность, исследование кинематических, геометрических, динамических свойств проектируемых конструкций. Эти системы позволяют моделировать работу изделия в условиях изменяющейся внешней среды, имитирующей работу конструкции в реальных условиях. На САПР возлагаются функции документирования процесса проектирования: изготовление чертежей, спецификаций, размножение технической документации.

Проектирование и технологическая подготовка производства осуществляется в комплексе. Таким образом, проектирование и технологическую подготовку производства можно осуществить в комплексе, как бы в одном процессе, так что любые изменения в конструкции детали могут быть внесены непосредственно в конструкцию проектируемого изделия. Сложный итерационный, с многочисленными корректировками процесс «проектирование – технологическая подготовка производства» может быть проведен для крупных конструкторских работ, включающих просмотр сотен вариантов при разработке и создании конструкций из многих тысяч деталей.

При разработке новых конструкций, узлов, систем часто необходимо проанализировать саму идею, концепцию создания изделия. Такие работы проводятся в рамках предпроектных научных исследований и, как правило, связаны с анализом и сравнением вариантов систем, исследуемых потом с помощью ЭВМ. Привлечение автоматизированных систем научных исследований (АСНИ) позволяет резко повысить эффективность и качественные показатели создаваемой конструкции или системы. АСНИ в цепочке, составляющей производственный цикл, есть первая ступень его интегральной автоматизации.

Последние стадии производственного цикла, связанные с собственно изготовлением продукции, также целесообразно осуществлять в едином процессе с использованием общей информационной базы. В роли связующей основы систем САПР и АСТПП выступает проект, он же обеспечивает интеграцию предметных областей изделий и самой производственной среды, приводит к цепочке АСНИ / САПР / АСТПП / ГАП, т.е. к интегрированному производственному комплексу. Проект содержит практически всю информацию, необходимую для осуществления производственного цикла. Главная задача, связанная с обеспечением функционирования систем автоматизации и локальных вычислительных систем (ЛВС), – разработка их информационного, программного и аппаратного обеспечения, а также проведение системных исследований, определяющих принципы и методы их интеграции, общую стратегию внедрения систем автоматизации на предприятии, оптимальный уровень автоматизации производственных процессов, методы оценки эффективности и т.д.

Для понимания масштаба задач автоматизации в деятельности предприятия рассмотрим его производственный цикл. На рисунке 1 представлен традиционный производственный цикл промышленного предприятия [3]. Организация этого цикла определяется заказчиками изделий и потребностями

ми рынков сбыта. Могут быть случаи, когда в роли проектировщиков и изготовителей выступают разные фирмы, в других случаях это одно предприятие. Но производственный цикл всегда начинается с выработки концепции нового изделия, т.е. с возникновения определенной идеи. Затем осуществляется конструкторская проработка изделия, которая реализуется документацией в виде конструкторских чертежей и совокупности технических описаний (спецификаций), отображающих принципы функционирования изделия. Формулируется план выпуска новой продукции. На этом этап проектирования заканчивается (если не считать конструктивных изменений, которые могут быть на протяжении всего жизненного цикла изделия). Следующим видом деятельности становится изготовление изделия, которое начинается с технологической подготовки производства (проектирование ТП и необходимого технологического оснащения оборудования, оснастки, инструмента). На этапе разработки графика производства вырабатывается план, в соответствии с которым предприятие фактически берет на себя обязательство выпустить определенное количество изделий в конкретные сроки. После этого запускается собственно производство, заканчивающееся необходимым контролем и отгрузкой заказчику.

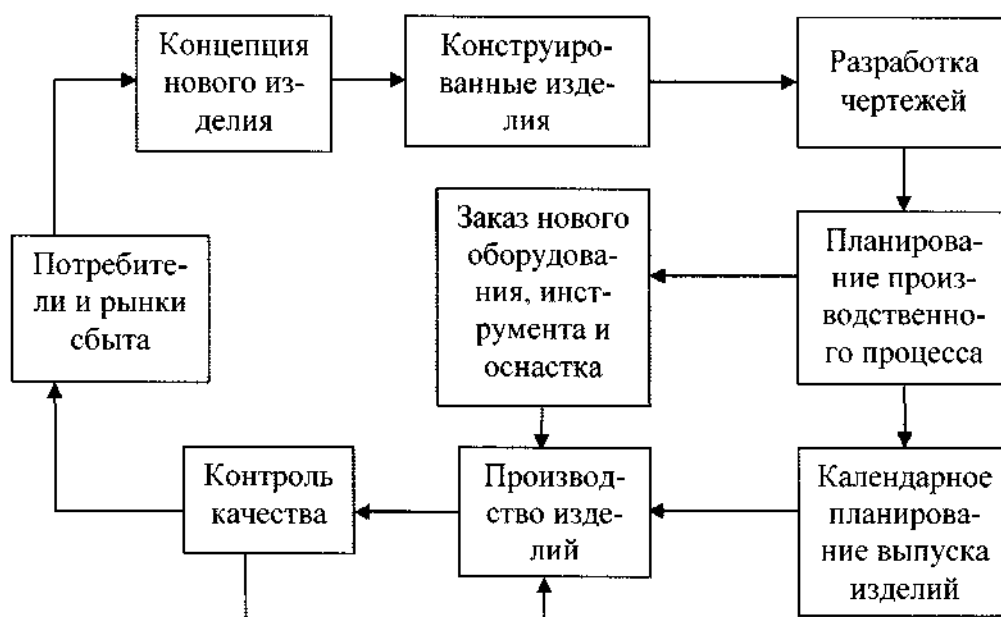


Рисунок 1 – Производственный цикл (охватывающий проектирование и изготовление изделий)

Влияние автоматизации на все рассмотренные виды деятельности является определяющим, что видно из рисунка 2. Автоматизированное проектирование и автоматическое изготовление чертежей и конструкторской документации (АСНИ, САПР) имеют место на этапах выработки концепции,

конструирования изделия и разработки чертежей. На этапах ТПП и календарного планирования выпуска использование АСТПП и АСУП обеспечивает более эффективное выполнение этих функций. В ходе производства ЭВМ (СУ ГПС) осуществляет текущий контроль и управление технологическими операциями. В процедурах контроля качества система автоматического контроля (САК) обеспечивает контроль и испытание как готовых изделий, так и их компонентов.



Рисунок 2 – Производственный цикл при автоматизированной поддержке

Основные типы автоматизированных систем, используемых в производственном цикле, представлены на рисунке 3, где приняты следующие обозначения в соответствии общепринятой международной аббревиатурой:

- CAE (Computer Aided Engineering) – автоматизированные расчеты и анализ;
- CAD (Computer Aided Design) – автоматизированное проектирование;
- CAM (Computer Aided Manufacturing) – автоматизированная технологическая подготовка производства;

- PDM (Product Data Management) – управление проектными данными;
- ERP (Enterprise Resource Planning) – планирование и управление предприятием;
- MRP II (Manufacturing Requirement Planning) – планирование производства;
- MES (Manufacturing Execution System) – производственная исполнительная система;
- SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – диспетчерское управление производственными процессами;
- CNC (Computer Numerical Control) – компьютерное числовое управление.

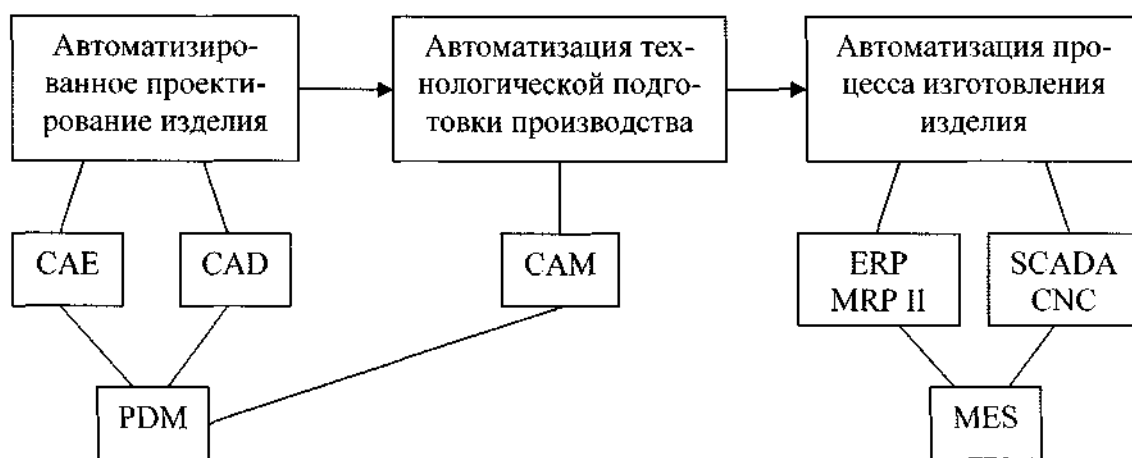


Рисунок 3 – Системы автоматизации производственным процессом

Как видно из рисунка 3, автоматизированные системы поддерживают определенные этапы и процедуры в ЖЦ изделий. Современные САПР (или системы CAE/CAD), обеспечивающие сквозное проектирование сложных изделий или, по крайней мере, выполняющие большинство проектных процедур, имеют многомодульную структуру. Модули различаются своей ориентацией на те или иные проектные задачи применительно к тем или иным типам устройств и конструкций. При этом естественно возникают проблемы, связанные с построением общих баз данных, с выбором протоколов, форматов данных и интерфейсов разнородных подсистем, с организацией совместного использования модулей при групповой работе. Решение этих проблем затрудняется на предприятиях, производящих сложные изделия, в частности, с механическими и радиоэлектронными подсистемами, поскольку САПР в машиностроении и радиоэлектронике до недавнего времени развивались самостоятельно и в отрыве друг от друга.

Для решения проблем совместного функционирования компонентов САПР различного производственного назначения были разработаны специ-

альные средства управления проектными данными – системы PDM. Эти системы либо входят в состав модулей конкретной САПР, либо имеют самостоятельное значение и могут функционировать совместно с разными САПР.

Автоматизированные системы ТПП, составляющие основу системы САМ, выполняют синтез технологических процессов и программ для оборудования с ЧПУ, выбор технологического оборудования, инструмента, оснастки, расчет норм времени и т.п.

Модули системы САМ обычно входят в состав развитых САПР, поэтому интегрированные САПР часто называют автоматизированными системами CAE/CAD/CAM/PDM.

Функции управления на промышленных предприятиях обычно выполняются с помощью автоматизированных систем на нескольких иерархических уровнях. Автоматизацию управления на верхних уровнях (от корпорации до цеха) осуществляют АСУП, классифицируемые как системы ERP или MRP II. Наиболее развитые системы ERP выполняют различные бизнес-функции, связанные с планированием производства, закупками, сбытом продукции, анализом перспектив маркетинга, управлением финансами, персоналом, складским хозяйством, учетом основных фондов и т.п. Системы MRP II ориентированы главным образом на бизнес-функции, непосредственно связанные с производством.

Системы АСУТП контролируют и используют данные, характеризующие состояние технологического оборудования и протекание технологических процессов. Именно их чаще всего называют системами промышленной автоматизации. Для выполнения диспетчерских функций (сбор и обработка данных о состоянии оборудования и технологических процессов) и разработки программного обеспечения для встроенного оборудования в состав АСУТП вводят систему SCADA. Для непосредственного программного управления технологическим оборудованием используют системы CNC на базе контроллеров – специализированных компьютеров, встроенных в технологическое оборудование.

Для выявления задач, переводимых на автоматическое решение, необходимо разработать графическую информационную модель (ГИМ) производственного цикла создания изделия. Модель удобна для использования, так как представляется совокупностью блок-схем, которые широко используются в инженерной практике [2]. Разработка модели осуществляется таким образом, что блок-схемы распределяются по уровням подчиненности: функции, задачи, процедуры. К ним добавляются матрицы увязки информации в документах, которые уточняют содержание информации по задачам вплоть до каждого реквизита всех документов. Практическое значение ГИМ определяется тем, что она является исходным документом для планирования развития системы; служит основанием для выявления задач, переводимых на автоматическое решение: дает исходную информацию для разработки алгоритмов решения задач; представляет проект системы на новом уровне интеграции и автоматизации.

На рисунке 4 представлена ГИМ системы производственного цикла исходного уровня функционирования СУ производственным циклом. Модель дает возможность проанализировать характер влияния отдельных функций на работу системы в целом.

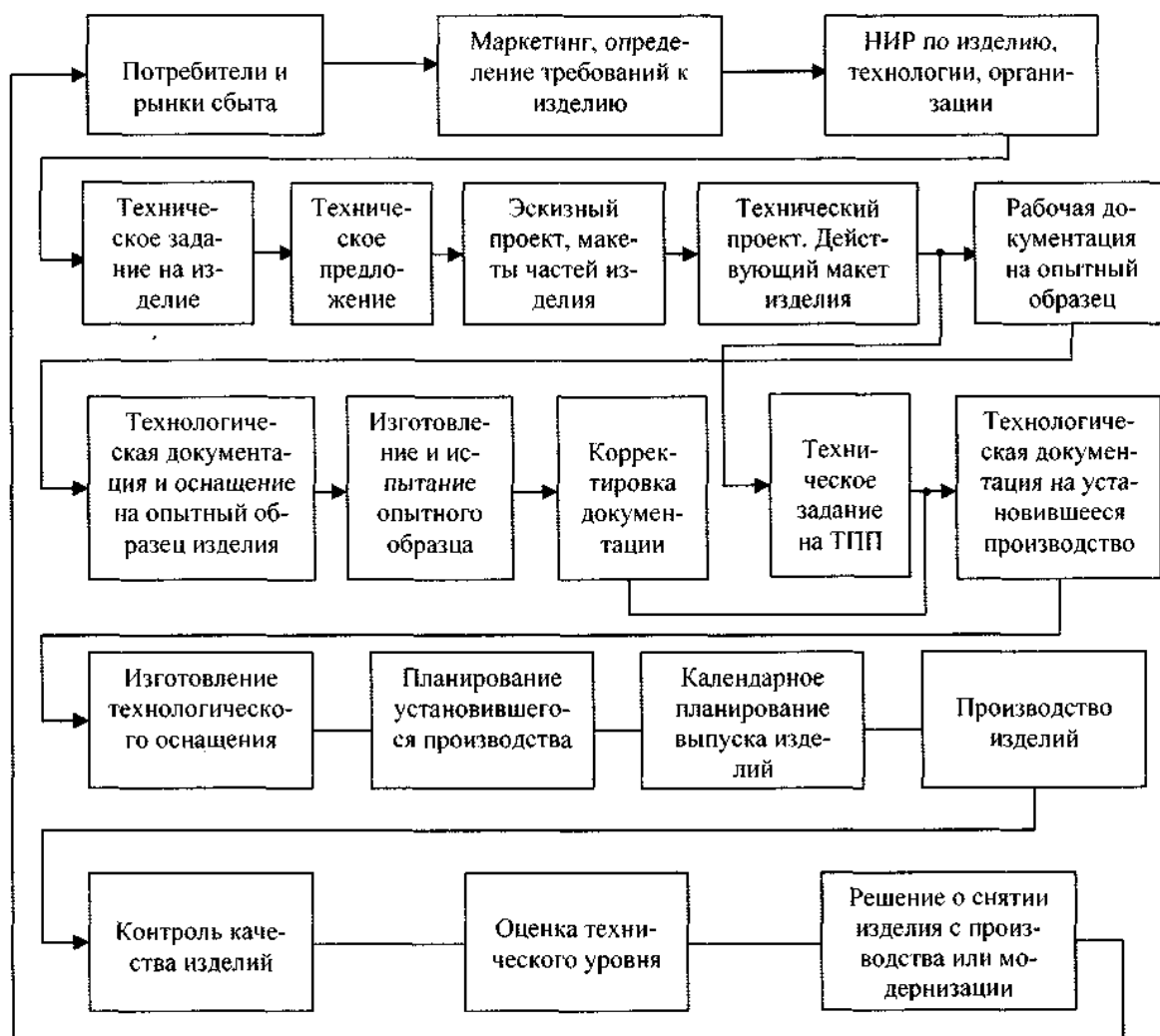


Рисунок 4 – Блок-схема функций производственного цикла создания изделий

Модель начинается с маркетинга, технического задания на проектирование и заканчивается принятием решения о судьбе изделия.

Структура модели включает не только перечень функций, но и отношение между ними, которые обозначаются стрелками прямых и обратных связей.

Традиционная структура производственного цикла привела к ситуации, когда сроки научно-технической подготовки производства сложных изделий приблизились к срокам сменяемости самих изделий. Автоматизация позволяет разрешить это противоречие путем охвата всех этапов ЖЦИ: от автоматизации научных исследований до автоматизации производственного

цикла; создания математической модели изделия и технологического процесса, позволяющих повысить качество готовых изделий и сократить сроки тестирования изделий либо отказаться от него.

Учитывая возможности современных систем автоматизации отдельных этапов производственного цикла была разработана графическая модель производственного цикла, в которой основные функции системы автоматизированы (рисунок 5). В ней отражается высокий уровень автоматизации проектирования и производства достигнутой за счет использования САПР и АСУ ТП; введены функции, выявленные при анализе модели управления; отражены принципы создания сложных систем.

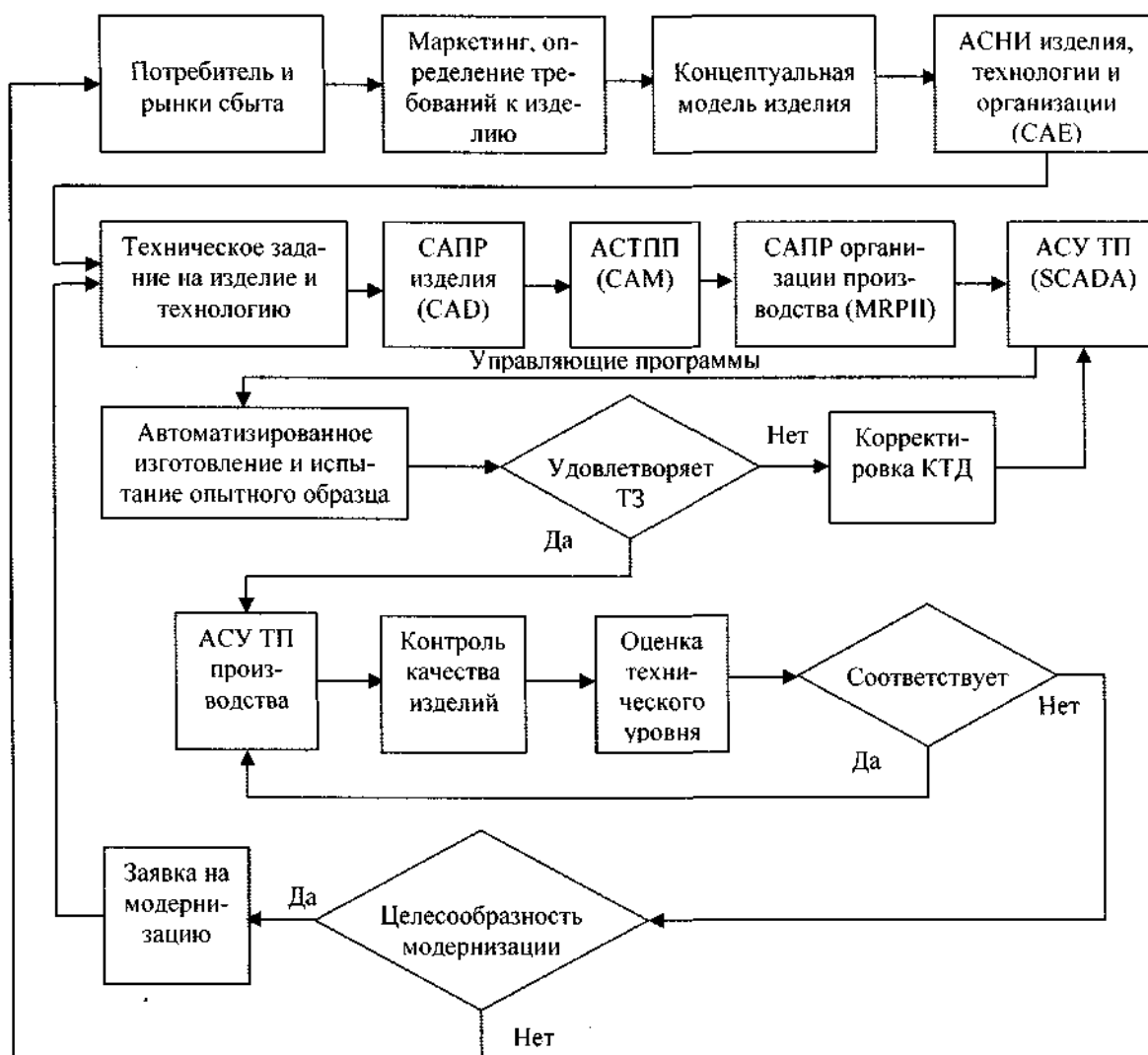


Рисунок 5 – Графическая модель автоматизированного производственного цикла с автоматизированной поддержкой основных функций

Изменение структуры функций вызваны новыми возможностями, обусловленными их автоматизацией по всем стадиям производственного цикла.

Сравнение исходной модели (рисунок 4) с разработанной (рисунок 5) дает возможность определить направления работ по созданию интегрированных производственных систем (ИПС).

Интеграция САПР с АСУ ТП приводит к объединению конструирования, проектирования технологии и процесса изготовления изделия.

Библиографический список

1. Автоматизированное проектирование и производство в машиностроении / под ред. Ю. М. Соломенцева, В. Г. Митрофанова. – М.: Машиностроение, 1986. – 256 с.
2. Логашев В. Г. Технологические основы автоматических производств. – Л.: Машиностроение, 1985. – 176 с.
3. Полетаев В. А. Компьютерно-интегрированные производственные системы: учеб. пособие / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2006. – 199 с.

УДК 681

ВЛИЯНИЕ РАЗРЯДНОСТИ АЦП НА ТОЧНОСТЬ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Сахнин Д.Ю., Сахнина М.А.

*Кемеровский государственный университет
г. Кемерово*

Любой алгоритм вычислительного характера, предназначенный для использования в системе управления, должен конструироваться с учетом того, что он будет выполняться в реальном масштабе времени на мини ЭВМ [7]. Цифровым системам управления присущи физические ограничения, определяемые дискретными процессами и элементами, которые отсутствуют в аналоговых системах. Поэтому необходимо учитывать эти ограничения при проектировании цифровых систем управления. Одним из устройств, использующихся в цифровых системах, является АЦП.

Исследования по эквивалентности моделей [4], получаемых с помощью модифицированного метода Висковатова (ММВ), проводились без учета влияния АЦП. Модифицированный метод Висковатова это алгоритм позволяющий идентифицировать структуру и параметры объекта управления по дискретным отсчетам вход-выходных параметров.

Суть метода заключается в том, что на основе дискретных вход-выходных данных формируется расчетная идентифицирующая матрица. Первые две строки этой матрицы представляют последовательные измерения входной и выходной переменных, а остальные элементы рассчитываются рекуррентным соотношением до тех пор, пока не появляется строка с нулевыми элементами. Первый столбец до нулевой строки определяет структуру и значения параметров дискретной передаточной функции. Подробно

познакомиться с этим методом можно в работах [2, 3].

В работе исследуется влияние разрядности АЦП на эквивалентность моделей, получаемых модифицированным методом Висковатова.

Исследования [2, 3, 5, 6] с помощью модифицированного метода Висковатова показали, что существует такой шаг дискретизации Δt_{\min} , зависящий от структурных свойств объекта (1), при котором выбор шага дискретизации $\Delta t < \Delta t_{\min}$ не позволяет решить задачу SP-идентификации, так как наблюдается подмена структуры модели объекта (2). С другой стороны, шаг дискретизации Δt не должен быть больше величины Δt_{\max} , определяющей нахождение всех полюсов и нулей непрерывной передаточной функции объекта в основной полосе $\left(-\frac{\pi}{\Delta t_{\max}}, \frac{\pi}{\Delta t_{\max}}\right)$. Таким образом, величину шага дискретизации Δt следует выбирать из некоторого интервала $(\Delta t_{\min}, \Delta t_{\max})$.

Вариация шага дискретизации на интервале $(\Delta t_{\min}, \Delta t_{\max})$ порождает континуальное множество дискретных моделей:

$$G(z, \Delta t_1) = k_1 \frac{\prod_{i=1}^{m_1} (z - z_i^{i_1})}{\prod_{j=1}^{n_1} (z - z_j^{j_1})}, \quad G(z, \Delta t_2) = k_2 \frac{\prod_{i=1}^{m_1} (z - z_i^{i_2})}{\prod_{j=1}^{n_1} (z - z_j^{j_2})}.$$

Все такие модели являются эквивалентными между собой, так как взаимно-однозначны непрерывной передаточной функции (1). От каждой из них можно произвести переход к непрерывному описанию (1). Более того, можно установить отношение эквивалентности между ними, т.е., зная дискретную модель для любого $\Delta t \in (\Delta t_{\min}, \Delta t_{\max})$, можно по ней восстановить дискретную модель для любого другого шага дискретизации $\Delta t' \in (\Delta t_{\min}, \Delta t_{\max})$, $\Delta t' \neq \Delta t$.

Таким образом, для динамического объекта существует множество значений периодов дискретизаций $(\Delta t_{\min}, \Delta t_{\max})$, при которых осуществляется эквивалентность дискретных моделей, сохраняющих динамические свойства объекта.

Для определения Δt_{\max} при решении задачи структурно параметрической идентификации было сформулировано условие SP-идентифицируемости [3, 5]: Если предположить, что кроме действительных нулей и полюсов существуют пары комплексно-сопряженных нулей и полюсов непрерывной передаточной функции соответственно $s_1^i, s_2^i, \dots, s_m^i, s_1^i, s_2^i, \dots, s_n^i$, то мнимые части указанных особых точек должны удовлетворять условию SP-идентифицируемости в следующей форме:

$$\Delta t \cdot \max \left| \operatorname{Im} \left[s_1^i, s_2^i, \dots, s_m^i, s_1^i, s_2^i, \dots, s_n^i \right] \right| < \pi,$$

где Δt – величина шага дискретизации.

Если все особые точки вещественны, не удастся воспользоваться условием SP-идентифицируемости. Если объект имеет только действительные полюса $s_1^i, s_2^i, \dots, s_n^i$, то для выбора шага дискретизации позволяющего построить с помощью модифицированного алгоритма В. Вискватова его дискретную модель, удовлетворяющую принципу эквивалентности, можно воспользоваться соотношением $\Delta t \in (\Delta t_{\min}, \Delta t_{\max})$, где $\Delta t_{\min}, \Delta t_{\max}$ определяются по формулам [6]:

$$\Delta t_{\min} = -\frac{\ln|1-\varepsilon|}{\min(|s_1^i|, |s_2^i|, \dots, |s_n^i|)}, \quad \Delta t_{\max} = -\frac{\ln|\varepsilon|}{\max(|s_1^i|, |s_2^i|, \dots, |s_n^i|)},$$

где ε – некоторая заданная сколь угодно малая величина ($\varepsilon > 0$).

Аналоговые входные устройства обычно выдают сигналы в виде напряжения или тока стандартного диапазона. Эти сигналы квантуются по уровню в АЦП и переводятся в цифровые коды. Соотношение между шагом квантования Δ и разрядностью АЦП N имеет вид: $\Delta = 2^{-N}$ [1].

На выходе АЦП формируется значение $y_Q = L\Delta$, где $L = 0, 1, 2, \dots, N$ целое число шагов квантования Δ . Остаток $\delta_y < \Delta$ либо округляется, либо усекается. В обоих случаях справедливо соотношение: $y = y_Q + \delta_y$. Где ошибка квантования заключена в следующих пределах: при округлении $-0,5 \leq (\delta_y/\Delta)_R < 0,5$; при усечении $0 \leq (\delta_y/\Delta)_T < 1$.

Исследуем влияние АЦП на эквивалентность моделей, используя следующие ограничения:

- напряжение на входе имеет диапазон 0-10В;
- остаток δ_y округляется.

Для этого выходная переменная $y(n\Delta t)$ преобразуется в выходную переменную АЦП $y_Q(n\Delta t)$ следующим образом:

$$y_Q(n\Delta t) = \Delta L, \text{ где } L = \begin{cases} \left[\frac{y(n\Delta t)}{\Delta} \right], & \left| \left\{ \frac{y(n\Delta t)}{\Delta} \right\} \right| \leq 0,5 \\ \left[\frac{y(n\Delta t)}{\Delta} \right] + 1, & \left| \left\{ \frac{y(n\Delta t)}{\Delta} \right\} \right| > 0,5 \end{cases}.$$

Проведем модельное исследование. Рассмотрим аperiodический объект второго порядка с непрерывной передаточной функцией вида:

$$G(s) = \frac{4}{(3s+1)(5s+1)}.$$

Динамические свойства этого объекта характеризуют полюса $s_1 = -0,33333$ и $s_2 = -0,2$. Согласно принципу эквивалентности, шаг дискретизации Δt следует выбирать из интервала (0,3; 9).

Варьируя Δt в этих пределах провели исследование для АЦП с разряд-

ностями 8, 12, 16. На рисунках 1 – 3 изображен разброс восстанавливаемых полюсов с помощью ММВ, относительно их точного значения при варьировании шага (шаг вариации 0,1) дискретизации на интервале (0,3; 9), для 8, 12 и 16 разрядного АЦП соответственно.

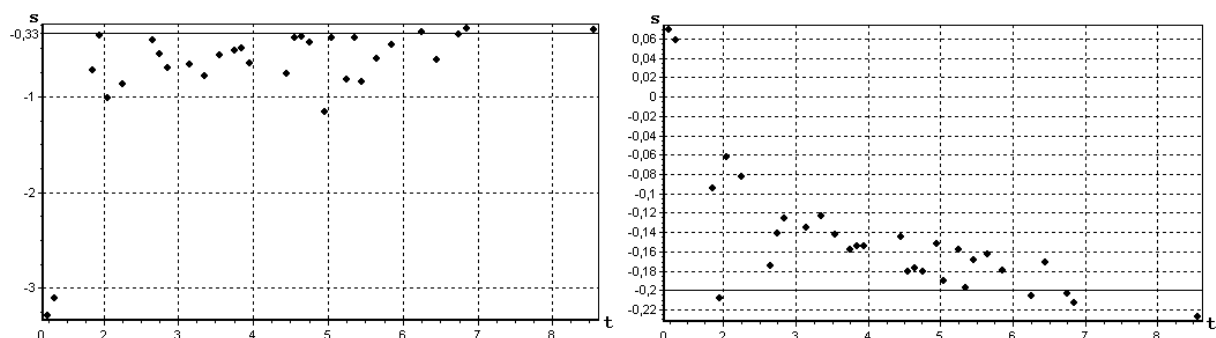


Рисунок 1 – Разброс восстанавливаемых полюсов относительно их точного значения для 8 разрядного АЦП

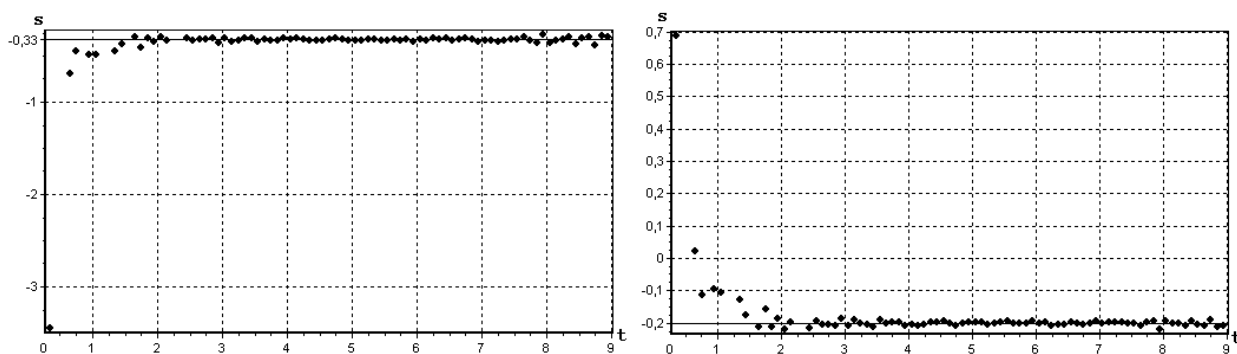


Рисунок 2 – Разброс восстанавливаемых полюсов относительно их точного значения для 12 разрядного АЦП

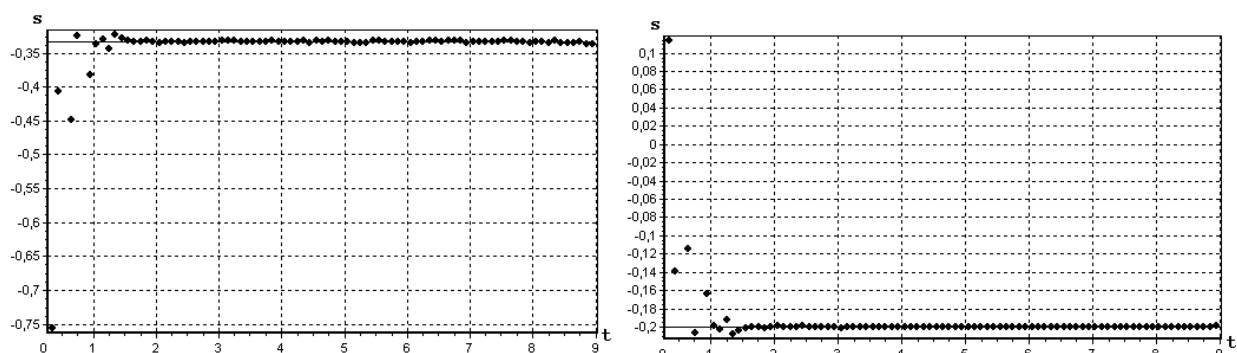


Рисунок 3 – Разброс восстанавливаемых полюсов относительно их точного значения для 16 разрядного АЦП

Анализ графиков показывает, что для 8 разрядного АЦП невозможно выделить область из интервала $(\Delta t_{\min}, \Delta t_{\max})$, в которой получается эквивалентную модель. Принцип эквивалентности выполняется только при некоторых значениях Δt . Увеличение разрядности АЦП приводит к появлению конечного интервала из $(\Delta t_{\min}, \Delta t_{\max})$, на котором выполняется принцип эквивалентности. При Δt близких к Δt_{\min} принцип эквивалентности не выполняется.

Проведенные исследования позволяют сделать следующий вывод: для исследуемых объектов можно установить следующую связь между разрядностью АЦП и принципом эквивалентности [8]:

$$(\Delta t_{\min}^8, \Delta t_{\max}^8) \subset (\Delta t_{\min}^{12}, \Delta t_{\max}^{12}) \subset (\Delta t_{\min}^{16}, \Delta t_{\max}^{16}) \subset (\Delta t_{\min}, \Delta t_{\max}),$$

где $(\Delta t_{\min}^k, \Delta t_{\max}^k)$ – интервал, где выполняется принцип эквивалентности для k разрядного АЦП ($k = 8, 12, 16$);

$(\Delta t_{\min}, \Delta t_{\max})$ – интервал, определяемый по принципу эквивалентности без учета АЦП.

Библиографический список

1. Изерман Р. Цифровые системы управления. – М.: Мир, 1984. – 541 с.
2. Карташов В.Я. Анализ и исследование аппроксимационных свойств непрерывных дробей при решении задачи структурно-параметрической идентификации динамических объектов / Препринт № 22. – Барнаул: Изд-во Алтайского госуниверситета, 1996. – 40 с.
3. Карташов В.Я. Цифровые системы контроля с идентификацией динамических свойств и характеристик сложных объектов / дисс. на соискание ученой степени д.т.н. – Кемерово, 1997. – 504 с.
4. Карташов В.Я. Эквивалентность дискретных моделей – реальность? // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2006. – № 8. – С. 40 – 44.
5. Карташов В.Я., Инденко О.Н., Александров А.В. Влияние периода дискретизации на структурно-параметрическое соответствие между непрерывной и дискретной по времени моделями линейного динамического объекта / Препринт № 15. – Барнаул: Изд-во Алтайского госуниверситета, 1996. – 36 с.
6. Карташов В.Я., Сахнин Д.Ю. Структурно-параметрическая идентификация дискретных моделей объектов с запаздыванием для настройки регуляторов Смита // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311. – № 5. – С. 19 – 23.
7. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с.
8. Сахнин Д.Ю., Сахнина М.А. Влияние АЦП на принцип эквивалентности. / Образование, наука, инновации – вклад молодых исследователей: материалы IV (XXXVI) Международной научно-практической конференции / Кемеровский госуниверситет. – Кемерово: ООО «ИНТ», 2009. – Вып. 10. – Т. 2. – С. 193 – 195.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И НЕЙРО-НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

СЫРКИН И.С., ПОЛЕТАЕВ В.А.

*Кузбасский государственный технический университет
г. Кемерово*

В данной работе представлены результаты разработки модели электроэрозионной обработки и структурная схема управления процессом. Применение нейро-нечеткого регулятора позволило повысить эффективность управления за счет поддержания параметров обработки на оптимальном уровне.

Современное машиностроение развивается в направлениях повышения качества продукции, увеличения производительности производства, расширения номенклатуры изготавливаемых изделий, непрерывным совершенствованием машин и развитием технологии их изготовления, в том числе технологии формообразования. При этом, с одной стороны, постоянно улучшаются свойства материалов изделий – прочность, твердость, ударная вязкость, коррозионная стойкость и другое, а, с другой стороны, повышается эффективность процессов обработки.

Электроэрозионная обработка (ЭЭО) в машиностроении считается одним из наиболее прогрессивных и экономически выгодных процессов. Кроме того, с помощью ЭЭО можно получать поверхности, которые принципиально невозможно изготовить другими технологическими методами. Этот вид обработки используется для изготовления сложно-профильных деталей из трудно обрабатываемых токопроводящих материалов.

Процесс обработки представляет собой разрушение токопроводящего материала в результате пробоя межэлектродного промежутка электрическими импульсами. Большинство импульсов приводит к образованию лунок на поверхности заготовки. Импульсы идут с большой частотой (до десятков килогерц), в результате чего на поверхности материала образуется большое количество лунок, в конечном счете, на поверхности заготовки образуется углубление, повторяющее форму электрода-инструмента. В реальном процессе, при массовом воздействии разрядов в межэлектродном промежутке всегда есть выброшенные металлические частицы, сажа и парогазовые пузырьки, что приводит к снижению производительности обработки (рисунок 1). Сложные физические процессы приводят к нестабильности обработки. Традиционные системы управления не справляются с этой задачей, поэтому необходимо разработать адаптивную систему управления процессом ЭЭО.

На характер протекания и результаты процесса ЭЭО оказывают влияние большое количество факторов: физико-технологические характеристики заготовки и инструмента, полярность включения электродов, электрические

и временные параметры напряжения и тока, подаваемого в межэлектродный зазор, характеристики рабочей жидкости, параметры окружающей среды θ .

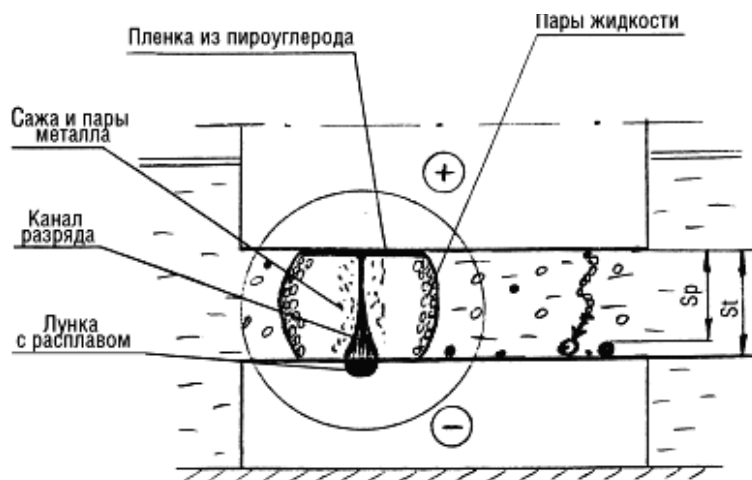


Рисунок 1 – Процесс электроэрозионной обработки

Анализ механизма процесса выявил основные этапы протекания обработки: пробой зазора; образование лунки в заготовке; уменьшение высоты заготовки, приводящее к увеличению зазора; вымывание частиц продуктов эрозии из зазора; уменьшение высоты электрода-инструмента в результате износа. Электрический пробой зазора зависит от распределения продуктов эрозии в межэлектродном промежутке и от геометрии поверхности электродов. На основе системного анализа, анализа механизма процесса ЭЭО разработана обобщенная структура модели процесса ЭЭО (рисунок 2).

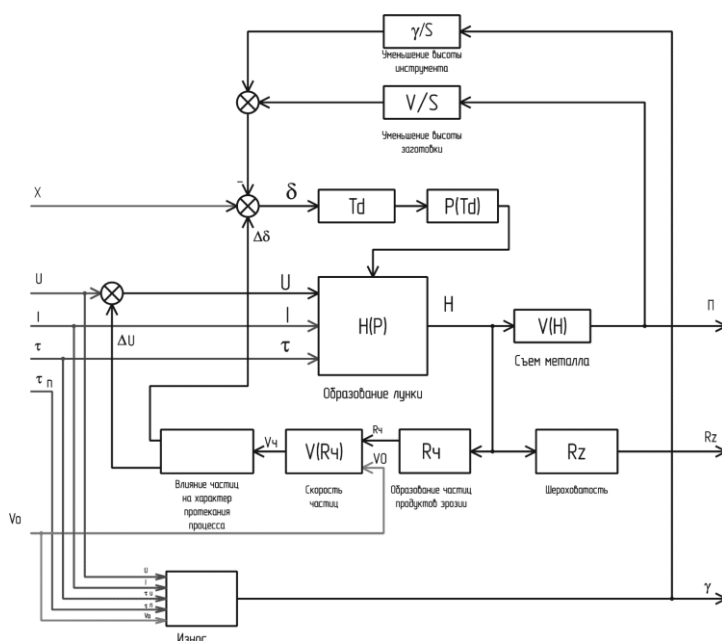


Рисунок 2 – Обобщенная структура модели процесса ЭЭО

В структуре модели выделены 3 блока входных воздействий:

- 1) привод подачи задает положение электрода X ;
- 2) генератор импульсов вырабатывает последовательность рабочих импульсов с амплитудой напряжения U , рабочим током I , длительностью импульса τ и длительностью паузы между импульсами t_n ;
- 3) механизм прокачки создает принудительный поток рабочей жидкости со скоростью V_0 .

Разработанная модель состоит из трех типов модельных блоков:

- 1) известные уравнения физики (определение размеров лунок, уменьшение высоты электродов, съем металла)
- 2) уравнения, полученные путем анализа экспериментальных данных (идентификация) – вероятность пробоя, износ инструмента.
- 3) блоки, моделирующие поведение совокупности дискретных элементов (частиц продуктов эрозии и отдельных лунок).

Адекватность подмоделей, основанных на экспериментальных уравнениях, подтверждается путем сравнения модельных и натуральных данных. Среднеквадратичное отклонение натуральных значений износа электрода от модельных составляет не более 10 %. Адекватность подмодели образования поверхности детали так же подтверждена сравнением модельной поверхности и микрофотографии рельефа. В соответствии с ГОСТ 2789-73 были определены основные критерии шероховатости поверхности. В результате сравнения Расхождения каждого из этих критериев между модельными и натурными данными составляет не более 12 %, что говорит об адекватности полученной модели.

Выходными переменными модели служат: V – производительность обработки, Rz – шероховатость получаемой поверхности и γ – величина износа инструмента, влияющая на точность обработки.

Для подтверждения адекватности всей модели были проведены эксперименты по исследованию влияния входных переменных процесса на выходные переменные.

Для наглядного подтверждения адекватности разработанной модели были построены графики зависимости производительности от длительности импульса (рисунок 3). Получена регрессионная модель данной зависимости. Площади фигур под экспериментальной и модельной кривой отличаются на 6 %, что говорит об адекватности модели.

Исследование модели процесса ЭЭО показало, что производительность обработки пропорционально зависит от величины зазора, причем при достижении критического значения производительность резко уменьшается (рисунок 4). Следовательно, для получения максимальной производительности требуется поддерживать величину зазора чуть меньше критической. Существует ограничение на это значение, накладываемое условиями пробоя зазора (в данной модели рабочая жидкость – чистый керосин, напряжение импульсов $U = 150$ В, пробивной зазор $\delta = 0,02$ мм). При увеличении зазора до

определенной величины, пробой становится невозможным. Колебания производительности при зазоре меньше критического подтверждают нестабильность процесса обработки.

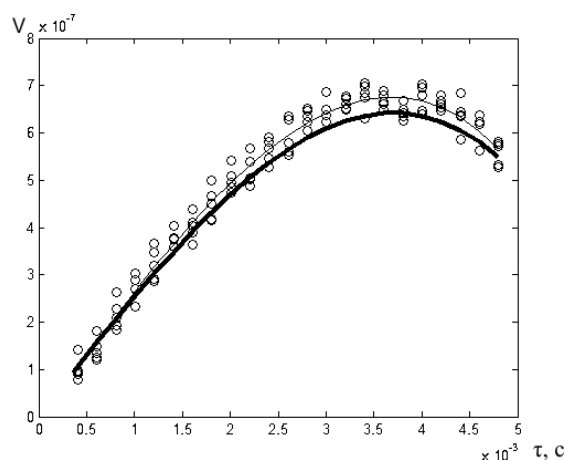


Рисунок 3 – Зависимость производительности (объем одной лунки) от длительности импульса (точками обозначены экспериментальные данные, тонкая линия – экспериментальная кривая, толстая линия – модельная кривая)

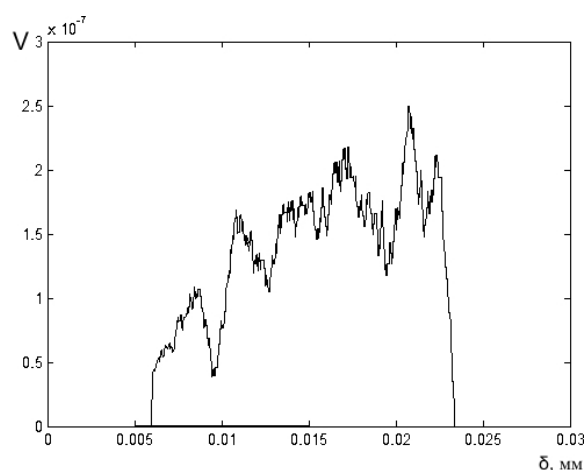


Рисунок 4 – Зависимость производительности от величины межэлектродного зазора

При изучении модели процесса ЭЭО проводились исследования зависимости производительности, шероховатости и точности обработки в зависимости от величины рабочего тока, длительности импульсов и величины паузы между ними. Полученные зависимости совпадают с экспериментальными данными, приведенными в [2, 3], что говорит об адекватности модели реальному процессу.

Анализ процесса ЭЭО показал, что он является нестабильным благодаря недетерминированному поведению продуктов эрозии и случайному

формированию микрогеометрии образующейся поверхности детали. На основании этого был сделан вывод о необходимости использования адаптивной системы управления для поддержания процесса в стабильном состоянии. Среди множества алгоритмов адаптивного управления выбран нечеткий. Преимущество нейро-нечеткого подхода заключается в том, что при проектировании системы управления возможно внести в алгоритм управления априорную информацию об объекте и желаемом поведении системы. Другое преимущество – возможность применения нечеткого регулятора для объектов, описываемых системами дифференциальных уравнений высоких порядков. Недостаток – сложность настройки параметров регулятора. Для решения этой проблемы можно использовать нейронную сеть, которая подстраивает указанные параметры [4].

Обобщенную структуру нейро-нечеткой системы управления можно представить нечетким регулятором и блоком его настройки, работающим на базе нейронных сетей. Нечеткий регулятор выполняет три основных действия: фазификацию – преобразование числового значения входных переменных в набор нечетких величин, принятие решений (нечеткий вывод), преобразование нечетких величин в числовые значения (дефазификация). Уточнение параметров нечетких функций, используемых для принятия решений, происходит при обучении регулятора.

Для разработки системы управления ЭЭО необходимо выделить показатели, описывающие условия протекания процесса обработки. Его состояние можно определить с помощью величин, измеряемых непосредственно: рабочего напряжения $u(t)$ и тока $i(t)$ в зазоре. Эти величины служат основой для вычисления показателей: относительное количество холостых импульсов μ_x (при холостом импульсе ток отсутствует); относительное количество рабочих импульсов μ_δ (при рабочем импульсе напряжение меньше, чем при холостом импульсе, ток не максимальный); относительное количество импульсов короткого замыкания (КЗ) μ_ϵ (при коротком замыкании напряжение близко к нулю, ток максимальный).

Для управления процессом ЭЭО необходимо на основе показателей, характеризующих состояние процесса обработки, определять управляющие воздействия, подаваемые на исполнительные устройства станка: сервопривода (положение электрода-инструмента X); генератора импульсов (рабочий ток i , длительность импульсов t_i , пауза между импульсами t_p); механизма прокачки (напор рабочей жидкости v).

Управление сервоприводом, ГИ и механизмом прокачки требует разработки регуляторов этих механизмов. Согласование их работы производится регулятором верхнего уровня.

Приведенные выше положения стали основой для разработки функциональной схемы адаптивной системы управления, содержащей три канала: сервопривод, генератор тока и систему прокачки рабочей жидкости (рисунок 5). На этом рисунке обозначено: Р – регулятор процесса обработки, БЗ –

блок записи данных для анализа и подстройки регулятора, Н – блок подстройки регулятора (обучение), ПН – блок предварительной настройки регулятора в начале процесса обработки, Р1 – регулятор сервопривода, СП – сервопривод, ДП – датчик положения сервопривода, ЗГ1 – задающий генератор ГИ, У1 усилитель мощности ГИ, ЗГ2 – задающий генератор механизма прокатки, МП – механизм прокатки, А – анализатор состояния зазора. В данной системе объект управления представлен процессом ЭЭО, управляющая система – регулятором процесса обработки с блоками его настройки, измерительная система – анализатором состояния зазора, исполнительный блок – отдельными исполнительными устройствами (сервопривода, ГИ, механизма прокатки РЖ) и их регуляторами. Сигналы в данной схеме обозначены: μ_i – относительное количество рабочих, холостых и импульсов короткого замыкания, $X_{ж}$ – желаемое положение инструмента, i – желаемый рабочий ток, τ – длительность импульсов и паузы между ними, v – желаемый напор РЖ, X – действительное положение инструмента, I – действительный ток, вырабатываемый ГИ, $V_{рж}$ – действительный напор РЖ.

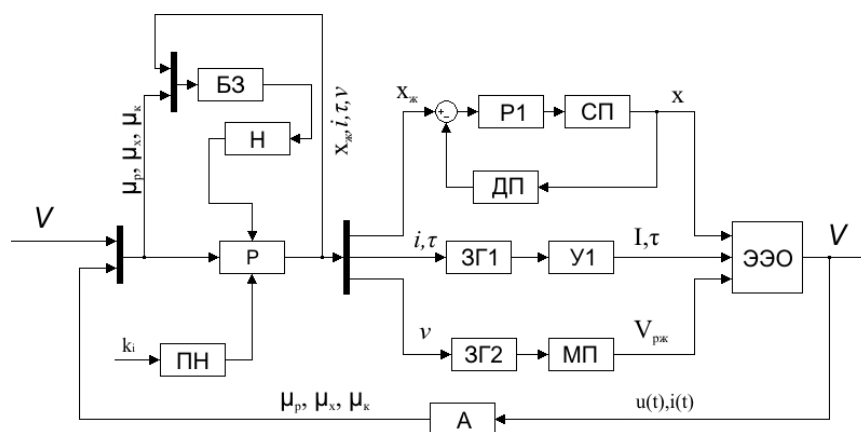


Рисунок 5 – Функциональная схема адаптивной системы управления электроэрозионным станком

На основе функциональной схемы была разработана структурная схема для определения параметров элементов системы управления. Эта схема включает в себя каналы управления: сервоприводом, генератором импульсов и механизмом прокатки.

Сервопривод для поддержания стабильности и требуемой производительности процесса ЭЭО должен обеспечивать позиционирование электрода-инструмента с точностью до 0,1 с быстродействием до 500 перемещений за одну секунду. По этим ограничениям была выбрана типовая структура системы управления, состоящая из двух контуров регулирования – тока в обмотках двигателя и положения якоря двигателя. Линейный двигатель (ЛД) позволяет улучшить динамические характеристики сервопривода по сравнению с приводом подачи, основанным на передаче «ходовой винт – гайка».

ЛД обладает нелинейными характеристиками усилия в зависимости от текущего положения и максимального тока в обмотках. Благодаря этой особенности традиционный ПИД-регулятор не обеспечивает требуемых показателей качества регулирования. Для устранения этого недостатка регулятор положения ЛД основан на нечетком ПИД-регуляторе. Структурная схема нечеткого ПИД-регулятора отличается от классического ПИД тем, коэффициенты усиления в отдельных каналах (пропорциональном, интегрирующем и дифференциальном) зависят от ошибки регулирования. Изначально закон изменения этих функций неизвестен, поэтому требуется выбрать способ автоматизированного построения функций, аппроксимирующих определенный закон. Одним из таких способов является применение адаптивных нейро-нечетких систем принятия решений (ANFIS) [5].

Результаты работы регуляторов приведены на рисунках 6 и 7. Переходный процесс изменения положения инструмента с использованием нечеткого ПИД-регулятора показывает улучшенные показатели качества по сравнению с классическим ПИД. Время регулирования уменьшилось с 0,15 до 0,08 с, интегральная квадратичная ошибка уменьшилась с 8,21 до 6,53. Это говорит о том, что ошибка регулирования на протяжении всего переходного процесса меньше во втором случае.

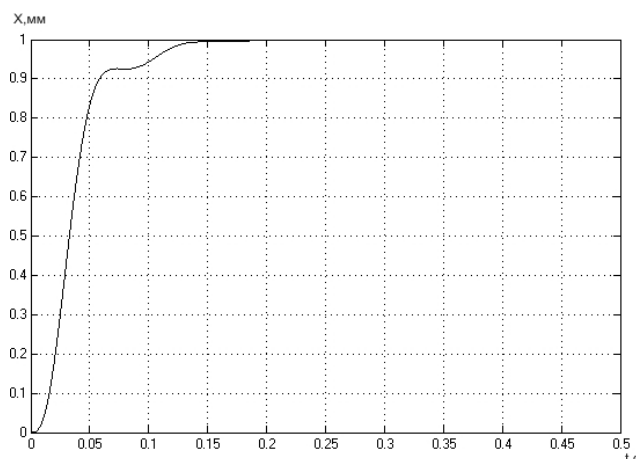


Рисунок 6 – Переходный процесс в системе с классическим ПИД-регулятором

Генератор импульсов вырабатывает импульсы с параметрами, заданными регулятором процесса. По этой причине нет необходимости реализовывать внутреннюю обратную связь в канале управления ГИ. От механизма прокачки требуется создавать заданный напор РЖ. Принимается, что напор РЖ зависит только от напряжения, подаваемого на двигатель механизма прокачки. Следовательно, в этом канале так же не требуется внутренняя обратная связь. Управление этими каналами осуществляется контроллером верхнего уровня.

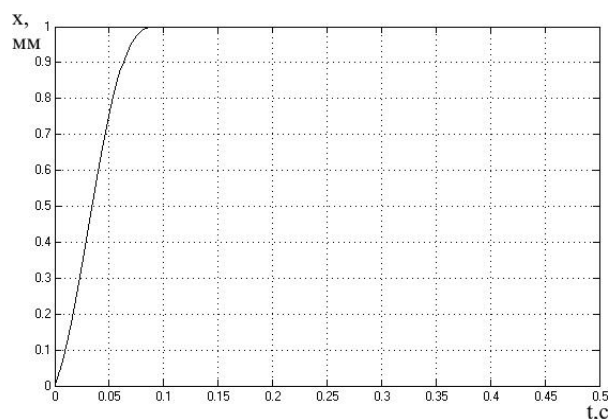


Рисунок 7 – Переходный процесс в системе с нечетким ПИД-регулятором

Целью управления процессом служит достижение максимального μ_{δ} при полном отсутствии импульсов КЗ: достижение максимального μ_{δ} позволит использовать как можно большее количество импульсов для удаления материала, а импульсы КЗ, приводящие к разрушению электродов, будут отсутствовать. Логика, которую должен обеспечивать регулятор, может быть описана набором правил принятия решений. На основе этих правил был разработан алгоритм регулирования процесса на основе ANFIS. Данный алгоритм вычисляет задающие воздействия для исполнительных блоков на основе входных переменных, получаемых от анализатора состояния зазора. Переход к нечетким величинам осуществляется при фазификации входных переменных. Далее происходит нечеткое принятие решений, и после дефазификации получаются четкие значения, подаваемые на входы исполнительных устройств. Такой алгоритм обусловлен тем, что исполнительные устройства требуют подачи на их входы определенных физических величин: напряжения, тока; цифровых данных.

Алгоритм адаптивного управления процессом ЭЭО построен на базе набора правил принятия решений. Для реализации правил принятия решений предложено использовать нечеткую логику; для изменения параметров принятия решений (функций принадлежности нечетких величин, параметров блока принятия решений) предполагается использовать нейронные сети. Примером объединения этих подходов служит сеть ANFIS

Для обеспечения максимальной производительности процесса обработки разработан алгоритм настройки нейро-нечетких алгоритмов регулирования:

1. Провести моделирование обработки;
2. Оценить показатели качества регулирования;
3. Построить обучающие выборки для каждого нечеткого контроллера;
4. Провести обучение ANFIS сетей;
5. Повторять, начиная с первого пункта до тех пор, пока показатели качества регулирования не будут улучшены (производительность обработки

станет максимальной).

Обучающие выборки строятся на основе записанных данных значений входных переменных (x_j, τ, i, v) и выходных переменных процесса ($\mu_\delta, \mu_\sigma, \mu_\varepsilon$). Обучающая выборка, должна иметь вид: $\delta Y \rightarrow \Delta X_{i+1} + \delta X$, где δY – приращение выходной переменной Y , которое должно соответствовать целевой функции, ΔX_{i+1} – изменение вектора входных переменных на $(i+1)$ -шаге, $\delta X = \text{знак}(\delta Y) \Delta X_i \cdot n$ – изменение вектора входных переменных. Обучение сетей ANFIS проводилось методом обратного распространения ошибки. Объем выборки составляет 1000 точек.

Подтверждением правильности разработанных алгоритмов обучения служат результаты моделирования поведения системы.

В результате проведенных исследований была доказана возможность применения нейро-нечетких регуляторов при управлении линейным двигателем и процессом ЭЭО. При управлении ЛД время регулирования уменьшилось в два раза, что подтверждает высокую эффективность управления.

В результате проведенных имитационных исследований была доказана возможность применения нейро-нечетких регуляторов для управления процессом ЭЭО и подтверждена высокая эффективность поддержания зазора.

Для технической реализации приведенной адаптивной системы управления и её исследования был создан экспериментальный образец электроэрозионного стана, позволяющий осуществить обработку фасонных поверхностей [2]. Основой станка служит сервопривод, выполняющий перемещение электрода-инструмента. В качестве двигателя использовался линейный двигатель. Генератор импульсов выполнен по схеме инверторного преобразователя напряжения. Механизм прокачки представляет собой двигатель постоянного тока, приводящий в действие центробежный насос. Система управления выполнена по распределенной архитектуре на базе микроконтроллеров серии dsPIC производства компании Microchip. Для каждого из каналов управления создан свой контроллер, который управляется от главного контроллера. Главный контроллер выполняет функцию нейро-нечеткого регулятора процесса обработки. В результате исследований была подтверждена возможность увеличения производительности обработки при обучении нейро-нечеткого регулятора. На рисунке 8 показан график мгновенной производительности обработки при обучении регулятора. После обучения скорость обработки возросла на 22 %.

Для подтверждения эффективности применения нейро-нечеткого регулятора по сравнению с существующими проведены эксперименты по обработке глубоких отверстий. Существующие системы управления показывают значительное уменьшение производительности при увеличении глубины обработки (кривая 2, рисунок 9). Следует заметить, что при использовании нейро-нечеткого регулятора производительность уменьшается незначительно (кривая 1). Прирост производительности при использовании нейро-нечеткого регулятора по сравнению с существующим составил 40 %.

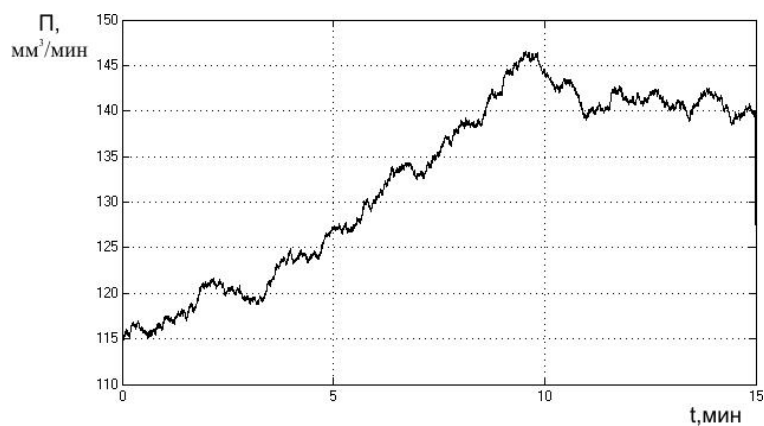
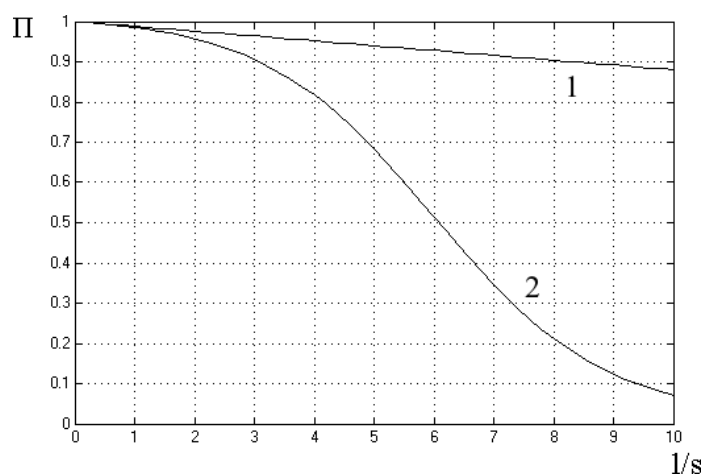


Рисунок 8 – Производительность обработки при обучении нейро-нечеткого регулятора



1 – глубина отверстия, s – диаметр отверстия

Рисунок 9 – Зависимость приведенной производительности (П) от относительной глубины отверстия (l/s)

Вывод. На основе анализа процесса построена его модель, доказана ее адекватность. Разработана структура системы адаптивного управления на основе нейро-нечетких систем принятия решений. Спроектирована и изготовлена лабораторная установка для выполнения электроэрозионной обработки. Экспериментальные исследования, проводимые на лабораторной установке, подтвердили эффективность разработанных алгоритмов регулирования.

Библиографический список

1. Особенности управления процессом ЭЭО / Полетаев В.А., Сыркин И.С. // Вестник СГУПС. – Новосибирск, 2005. – Вып. 11. – С. 56 – 62.
2. Размерная электрическая обработка металлов / Б.А. Артамонов [и др.] – М.: Высш. школа, 1978. – 336 с.

3. Zhang Yun, Wang Xiao-Lin. Neuro-Fuzzy Network Control Strategy for Electric Discharge Machining Process // Proceeding of the 2004 IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, Singapore, 2004.
4. Jelena Godjevac, Comparison between PID and fuzzy control. – Internal Report R93.36. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne Département d'Informatique Laboratoire de Microinformatique. 1993. – 23p.
5. Jang J.-S. R. ANFIS: Adaptive-Neuro-Based Fuzzy Inference System // IEEE Trans. Systems & Cybernetics. – 1993. – Vol. 23. – pp. 665 – 685.

УДК 622.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДА МЕТАЛЛА ПО ТОКУ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕ КРИОЛИТО-ГЛИНОЗЕМНОГО РАСПЛАВА

ГАЛЕВСКИЙ Г.В., КОНДРАТЕНКО В.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

В электролитическом производстве алюминия важное значение имеет выход металла по току, т.е. отношение практически полученного количества металла к теоретически возможному. Выход по току связан с потерями металла следующим выражением

$$\eta = 1 - \Delta m / (q \cdot j_k), \quad (1)$$

где η – выход по току, доля единицы;

Δm – потери металла, г/(см²·ч);

q – электрохимический эквивалент алюминия, г/(А·ч);

j_k – катодная плотность тока, А/см².

В формуле (1) учитываются потери металла с 1 см² поверхности катода в час (Δm) и количество металла, теоретически образующееся на той же поверхности за то же время ($q \cdot j_k$). Выход по току зависит от многих факторов, среди которых основными являются температура и состав электролита, плотность тока, междуполосное расстояние, форма и размеры электролизера. На снижение выхода по току также влияют периодические замыкания между анодом и металлом, особенно при низких значениях междуполосного расстояния (до 2 – 3 %) и протечи металла через футеровку ванны и транспортных ковшей (1 % и более) [1]. На рисунке 1 приведено влияние некоторых факторов на выход по току [2].

Целью настоящей работы является оценка применимости для определения выхода по току известных функциональных зависимостей, полученных на основе статистической обработки промышленных данных для электролизеров различных типов. Следует отметить, что зависимости такого вида немногочисленны и ограничиваются формулами М.А. Коробова [3, 4] и К. Гротхейма – В.Д. Велча [5, 6].

Формула М.А. Коробова имеет следующий вид:

$$\eta = 1 - \frac{256700 \cdot S_a^{0,21}}{j_a^{0,58} \cdot l \cdot e^{12940/t}}, \quad (2)$$

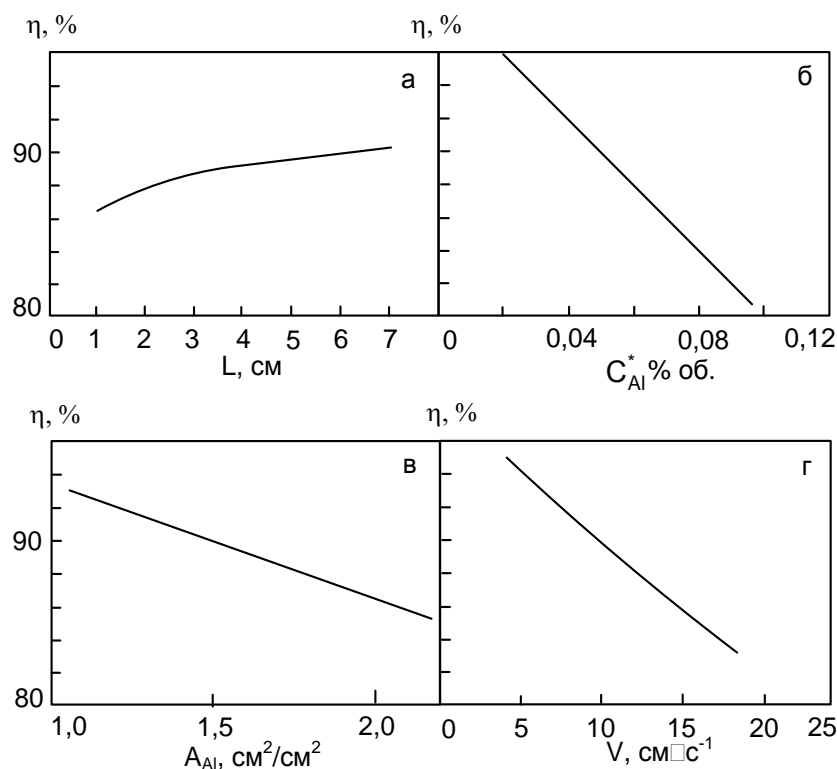
где η – выход по току в долях единицы;

S_a – площадь анода, м²;

j_a – анодная плотность тока, А/см²;

l – междуполусное расстояние, см;

t – температура электролиза, °С.



а – от МПР ($\eta = 90\%$ при МПР = 6 см); б – от растворимости Al в электролите ($\eta = 90\%$ при $C^*Al = 0,05\%$ (масс.)); в – от соотношения площадей катода и анода ($\eta = 90\%$ при $Sk/Sa = 1,5$); г – от скорости движения металла по отношению к электролиту ($\eta = 90\%$ при $v = 10$ см/с)

Рисунок 1 – Зависимость выхода по току от некоторых факторов

Формула (2) получена на основе статистической обработки заводских данных для электролизеров с анодом Содерберга с боковым и верхним токоподводами и охватывает наибольшее число основных параметров электролиза. Соответствующие зависимости выхода по току для некоторого электролизера с площадью анода 25 м², рассчитанные по формуле М.А. Коробова, приведены на рисунке 2.

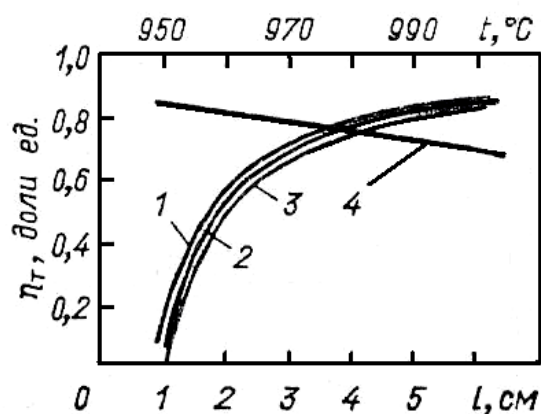


Рисунок 2 – Зависимость выхода по току от расстояния между электродами (1-3) при 960 °С и температуры (4) при анодной плотности тока, А/см²:
1 – 0,75; 2 – 0,65; 3 – 0,55

Зависимость выхода по току от расстояния между электродами можно объяснить следующим образом: с уменьшением этого расстояния при прочих равных условиях сила, действующая на электролит со стороны анодных газов, остается практически неизменной, а масса электролита уменьшается, что приводит к усилению циркуляции электролита и повышению потерь металла. В формуле М.А. Коробова не учтено то обстоятельство, что начиная с некоторого междуполюсного расстояния, наступает возможность непосредственного контакта между анодными газами и поверхностью металла, который совершает волнообразное движение. Поэтому при малых междуполюсных расстояниях падение выхода по току происходит на самом деле быстрее, чем показывают кривые. По этой причине в заводской практике стремятся обеспечить это расстояние в пределах 4 – 5 см. Чем больше размер анода, тем это расстояние больше, поскольку возможность замыканий электродов и волнение металла повышаются с увеличением размера анода. С повышением плотности на аноде (и соответственно на катоде) увеличивается выход по току. Потери металла возрастают с ростом плотности тока, так как увеличивается скорость циркуляции, но не прямопропорционально, а слабее, что и приводит к повышению выхода по току. Особенно резко влияет на выход по току повышение температуры: процессы диффузии ускоряются с повышением температуры по экспоненте, что учитывается формулой М.А. Коробова, и соответственно увеличиваются потери металла. Как следует из формулы М.А. Коробова, чем больше площадь анода, тем энергичнее циркуляция электролита и выше потери алюминия.

Формула М.А. Коробова охватывает наибольшее число основных параметров электролиза, но дает несколько заниженные результаты. Так, у электролизера с верхним токоподводом на силу тока 156 кА следующие параметры: $S_a = 23,1 \text{ м}^2$; $j_a = 0,675 \text{ А/см}^2$; $l = 5,2 \text{ см}$; $t = 960 \text{ °С}$. Подставив эти значения в формулу М.А. Коробова, получаем $\eta = 83,2 \%$, в то время как

данные электролизеры в настоящее время имеют выход по току 85,0 – 85,4 %.

В результате детального изучения производительности электролизеров с обожженными анодами зарубежных предприятий с контролем междуплюсного расстояния и определением выхода алюминия по току К. Гротхеймом и Б.Д. Велчем получена и предлагается к использованию следующая формула:

$$V_t = 163,7 - 0,1388 \cdot t + 0,59 \cdot \text{AlF}_3 + 58,9 \cdot \sin(3 \cdot h) - 0,032 \cdot A, \quad (3)$$

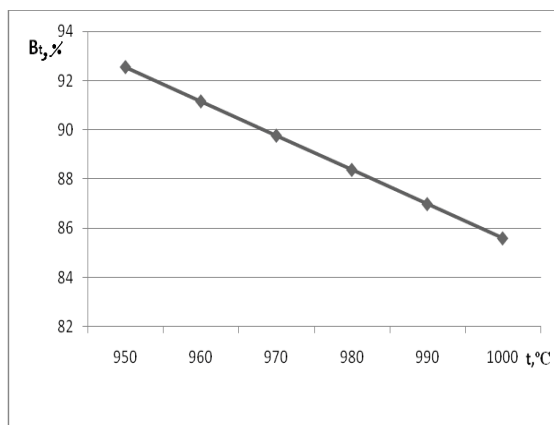
где t – температура электролита, °С;

AlF_3 – избыток фторида алюминия по сравнению с чистым криолитом, % масс.;

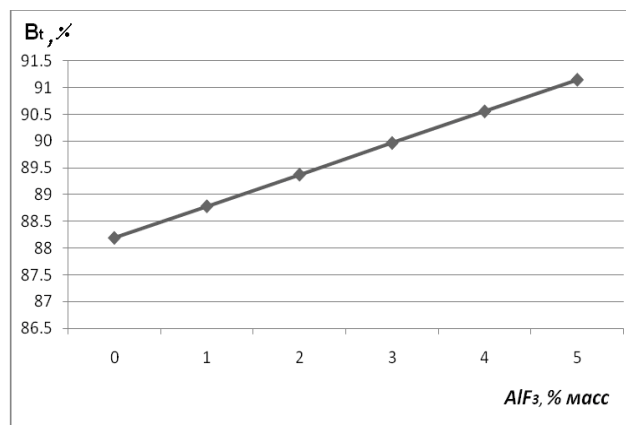
h – уровень металла, см;

A – срок службы электролизера, мес.

С использованием формулы К. Гротхейма – Б.Д. Велча проведено исследование влияния технологических параметров процесса на выход алюминия по току. При этом начальные значения параметров составили: температура 960 С°, избыток фторида алюминия 5 % масс., уровень металла 30 см, время работы электролизера 3 года. Ниже приведены полученные расчетным методом зависимости выхода алюминия по току от температуры, избытка фторида алюминия, продолжительности эксплуатации электролизера, уровня металла в электролизере. При расчете использовалась программа Microsoft Excel.



а



б

Рисунок 3 – Зависимость выхода по току от температуры процесса (а) и избытка фторида алюминия (б)

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

– Известные формулы, связывающие выход по току с параметрами электролизера, содержат эмпирические константы, устанавливаемые из экспериментальных данных, включают только отдельные параметры электроли-

за и не являются универсальными.

– Установленный в них характер зависимостей выхода алюминия по току от основных технологических параметров соответствует известным научно-производственным данным.

– Формула М.А. Коробова получена для электролизеров с анодом Содерберга с боковым и верхним токоподводом, учитывает наибольшее число основных параметров электролиза, но дает заниженные результаты.

– Значения выхода по току, рассчитанные по формуле К. Гротхейма – Б.Д. Велча, имеют хорошую сходимость с опытными данными, полученными на современных типах электролизеров, что делает возможным применение этой формулы для практических оценок.

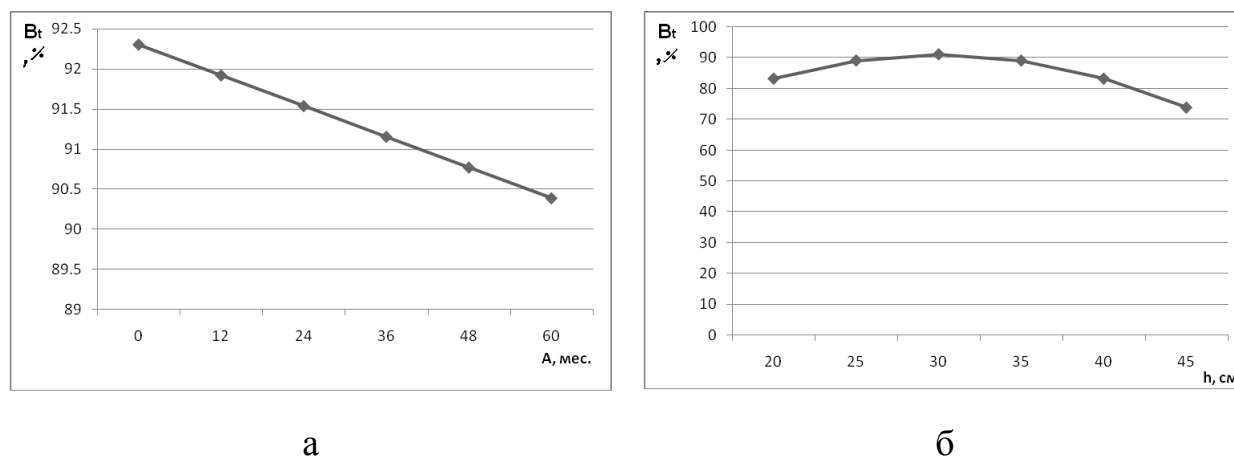


Рисунок 4 – Зависимость выхода по току от времени эксплуатации электролизера (а) и уровня металла в электролизере (б)

Библиографический список

1. Васюнина И.П. Выход по току: текст лекций VII Высших российских алюминиевых курсов / И.П. Васюнина, П.В. Поляков. – Красноярск, 2004. – 28 с.
2. Grjotheim K. Introduction to aluminium electrolysis / К. Grjotheim, Н. Kvande. – Dusseldorf: Aluminium Verlag, 1993. – 260 p.
3. Ветюков М.М. Электрометаллургия алюминия и магния / М.М. Ветюков, А.М. Цыплаков, С.Н. Школьников. – М.: Metallurgy, 1987. – 320 с.
4. Борисоглебский Ю.В. Metallurgy алюминия / Ю.В. Борисоглебский [и др.]. – Новосибирск: Наука, 2000. – 438 с.
5. Grjotheim K. Aluminium smelter technology / К. Grjotheim, В. J Welch. – Dusseldorf : Aluminium Verlag GMBH, 1980. – 146 p.
6. Галевский Г.В. Metallurgy алюминия. Технология. Электроснабжение. Автоматизация / Г.В. Галевский [и др.]. – М.: Флинта: Наука, 2008. – 528 с.

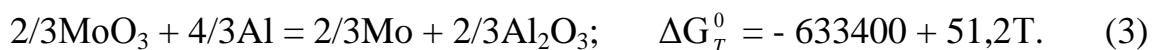
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВА ПРИ ВЫПЛАВКЕ ФЕРРОМОЛИБДЕНА РАСЧЕТНЫМ МЕТОДОМ

ГАЛЕВСКИЙ Г.В., РУДНЕВА В.В., ШЕФЕР П.Ю.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Ферромolibден – лигатурный сплав, используемый для введения добавок молибдена в хромистые, никелевые, хромоникелевые, вольфрамовые и другие специальные стали с целью улучшения их механических, антикоррозионных или магнитных свойств. Ферросплавная промышленность производит ферромolibден марок ФМо60, ФМо58, ФМо55, ФМо52 с содержанием молибдена соответственно не менее 60, 58, 55 и 52 %. Производство ферромolibдена в СССР было освоено в 1937 г. В последующие годы в результате активной геологической разведки был открыт ряд месторождений молибденсодержащих руд, разрабатываемых и в настоящее время. До недавнего времени основным производителем ферромolibдена являлось ОАО «Челябинский электрометаллургический комбинат». В связи с трудностями в поставке сырья и ужесточением требований к качеству ферромolibдена получение сплава на данном предприятии было прекращено. Сегодня производителями ферромolibдена в России являются предприятия компании «Союзметаллресурс», а добыча молибденового концентрата ведётся на Сорском ГОКе (горно-обогательном комбинате), Жирекенском ГОКе и Тырны-Аузском ГМК (горно-металлургическом комбинате). Сорский ГОК и Сорский ФМЗ (ферромolibденовый завод) расположены в Республике Хакасия. Готовой продукцией, выпускаемой на комбинате и заводе, являются флотационные молибденовый и медный концентраты, обожженный молибденовый концентрат, ферромolibден.

Для получения ферромolibдена с малым содержанием углерода (0,1-0,2 %) применяется простой и экономичный внепечной металлотермический способ – силикоалюминотермическое восстановление триоксида молибдена. При выплавке ферромolibдена восстановление молибдена идет по реакциям:



Равновесие приведенных реакций сильно сминуто вправо и практикой установлено, что в процессе плавки восстанавливается более 99 % оксидов

молибдена. Окисление кремния оксидами железной руды сопровождается дополнительными выделениями тепла. Восстановление оксида железа руды Fe_2O_3 до Fe составляет ~ 42 %, а остальное количество Fe_2O_3 восстанавливается до FeO, при этом FeO переходит в вязкий высококремнеземистый шлак и способствует его разжижению. Реакции восстановления оксидов при выплавке ферромолибдена и удельная теплота реакций приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Удельная теплота основных реакций, протекающих при плавке ферромолибдена

Реакции	Теплота реакции H_{298} , Дж	Удельная теплота, кДж/кг
$2/3\text{MoO}_3 + \text{Si} = 2/3\text{Mo} + \text{SiO}_2$	- 368104	2999
$2/3\text{MoO}_3 + \text{FeSi} = 2/3\text{Mo} + \text{Fe} + \text{SiO}_2$	- 280261	1556
$2/3\text{MoO}_3 + 4/3\text{Al} = 2/3\text{Mo} + 2/3\text{Al}_2\text{O}_3$	- 609463	4798
$2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{Si} = 4\text{Fe} + 3\text{SiO}_2$	- 958325	2372
$2\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Si} = 4\text{FeO} + \text{SiO}_2$	- 309960	904
$2/3\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4/3\text{Al} = 4/3\text{Fe} + 2/3\text{Al}_2\text{O}_3$	- 564705	4091

Степень восстановления металла из оксида кремнием и алюминием зависит от температуры, активности SiO_2 и Al_2O_3 в шлаке, содержания Si и Al в сплаве. Для увеличения степени восстановления металла необходимо понижать температуру процесса. Однако при этом повышается вязкость шлака, затрудняется массоперенос, что ведет к уменьшению степени восстановления и увеличению потерь сплава в виде корочков с вязким шлаком. Поэтому металлургические процессы проводят при температурах, обеспечивающих получение шлаков с высокой жидкоподвижностью и хорошее разделение шлака и сплава. Степень восстановления металла из оксида увеличивается при снижении активности SiO_2 и Al_2O_3 в шлаке, что достигается введением в шихту флюса – извести, которая с кремнеземом и глиноземом образует прочные химические соединения. Степень восстановления металла из оксида увеличивается также при увеличении расхода восстановителя, однако это приводит к увеличению содержания восстановителя в сплаве.

Целью настоящей работы является определение температуры расплава при выплавке ферромолибдена расчетным методом в зависимости от состава восстановителя (соотношения в нем кремния и алюминия). Температура расплава в момент расслоения шлака и металла определялась расчетным методом по обычно применяемой в металлургии формуле

$$t = 1420 + 107 \delta H,$$

где t – температура расплава в момент расслоения шлака и металла, °С;

$\delta H = Q_{\Sigma}/m_{\Sigma}$ – удельная теплота металлургического процесса;

Q_{Σ} – тепло, выделяющееся в экзотермических реакциях, кДж;

m_{Σ} – масса шихтовых материалов, г.

Для самопроизвольного протекания процесса (без подвода тепла из-

вне) термичность должна составлять 2,0 – 2,1 МДж/кг шихты. Тепла, выделяющегося при силикотермической реакции (если использовать чистый кремний), достаточно для самопроизвольного протекания процесса ($\delta H_{Si} = 2,8$ МДж/кг). При использовании ферросилиция $\delta H_{FeSi} = 1,5 - 1,6$ МДж/кг, и этого тепла уже недостаточно для самопроизвольного протекания процесса. Термичность процесса повышают введением в шихту железной руды и алюминия. Оптимальной считается температура 1850 – 1900 °С, причем порядка 42 % оксидов железа руды восстанавливается до железа, а остальные 58 % – до FeO.

Для выплавки ферромолибдена использовались шихтовые материалы, приведенные в таблице 2. Зависимость температуры расплава от массового соотношения Si/Al приведена в таблице 3.

Таблица 2 – Химический состав шихтовых материалов

Шихтовые материалы	Мо-обожженный концентрат	Fe – руда	Fe – стружка	Fe-Si 75	Al – крупка	Известь	
Химический состав, % масс.	MoO ₃	81,93	–	–	–	–	
	FeO	5,22	–	–	–	–	
	SiO ₂	11,15	2,00	–	–	0,50	
	CuO	0,20	–	–	–	–	
	S	0,08	–	0,02	–	–	
	P ₂ O ₅	0,10	0,02	0,04 (p)	0,05 (p)	–	0,06
	Al ₂ O ₃	1,32	–	–	–	–	0,20
	Fe ₂ O ₃	–	97,00	–	–	–	0,60
	CaO	–	0,98	–	–	–	93,30
	Fe	–	–	99,60	22,86	2,00	–
	C	–	–	0,20	0,09	–	–
	Si	–	–	0,14	75,00	1,00	–
	Al	–	–	–	2,00	93,00	–
	Cu	–	–	–	–	4,00	–
	MgO	–	–	–	–	–	0,74
CO ₂	–	–	–	–	–	4,60	

Зависимость температуры расплава от массового соотношения кремний/алюминий в шихте описывается регрессионным уравнением вида

$$t = 2148,32 - 12,05 [Si/Al],$$

при $r = - 0,753$. Анализ полученных результатов показывает, что используемая формула дает несколько завышенные результаты. Так, при реализуемом в производственных условиях массовом отношении Si/Al в шихте 4,40 расчетная температура расплава в момент расслоения шлака и металла составляет 2047 °С, а реально находится в пределах 1850-1900 °С, что свидетельст-

вует о необходимости дополнительного учета тепловых потерь на уровне 30 %.

Таблица 3 – Зависимость температуры расплава от массового отношения кремний/алюминий в шихте

Массовое отношение Si/Al в шихте	Количество кислорода в шихте, связанное кремнием, % масс.	t, °C
0,04	5	2219
0,09	10	2208
0,14	15	2198
0,19	20	2187
0,26	25	2176
0,33	30	2165
0,42	35	2155
0,52	40	2144
0,64	45	2133
0,78	50	2123
0,95	55	2112
1,17	60	2101
1,44	65	2090
1,81	70	2079
2,33	75	2069
3,11	80	2058
4,41	85	2047
7,00	90	2036
10,33	93	2030
14,78	95	2025

УДК 669.18.046.517:669.14.018.294.2

ВНЕПЕЧНАЯ ОБРАБОТКА – ОСНОВА СОВРЕМЕННОЙ КАЧЕСТВЕННОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Гизатулин Р.А., Нохрина О.И.

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

Повышение требований к качеству выпускаемой металлопродукции и стремление увеличить производительность существующих сталеплавильных агрегатов и технико-экономические показатели сталеплавильного производства за счет выноса части технологических операций в сталеразливочный ковш явились, как известно, основными причинами развития внепечной обработки стали, получившей название «вторичная» или «ковшовая» метал-

лургия.

В течение последнего десятилетия в связи с широким внедрением непрерывной разливки стали, требующей обеспечения постоянства температуры и химического состава металла, и увеличением объемов производства стали с низким содержанием примесей внепечная обработка получила распространение практически на всех металлургических предприятиях промышленно развитых стран.

К методам внепечной обработки стали в принципе может быть отнесен любой способ воздействия на расплав, прямо или косвенно обеспечивающий улучшение его физических или химических параметров, положительно влияющих на качество металла на любом участке технологической цепи с момента начала его выпуска из плавильного агрегата до момента окончания заполнения им изложницы или кристаллизатора.

Существующие способы внеагрегатного воздействия на сталь в зависимости от достигаемых целей условно можно разделить на 5 групп.

К первой группе относятся способы обработки металла вакуумом, предназначенные для снижения содержания в нем газов. В настоящее время получили распространение способы ковшового, порционного, циркуляционного и струйного вакуумирования.

Вторую группу составляют процессы, обеспечивающие интенсивное перемешивание жидкого металла в ковше за счет использования энергии сжатого газа, вводимого в расплав различными способами.

Наибольшее распространение на металлургических предприятиях получили способы перемешивания стали с помощью таких продувочных устройств, как погружаемые фурмы, пористые пробки, устанавливаемые в днище ковша, и приспособления, подающие газ через разливочный канал ковшового затвора.

Указанные методы перемешивания жидкого металла успешно применяют в сочетании с другими видами внепечной обработки, входящими в третью группу, которая объединяет способы рафинирования стали с помощью специально приготовленных шлаков или шлакообразующих смесей, позволяющих снизить содержание в ней серы и кислорода.

В отдельную, четвертую, группу могут быть выделены способы обработки стали порошкообразными реагентами, вводимыми в металл с целью его дефосфорации, десульфурации, раскисления и легирования, а также науглероживания. Введение реагентов в металлическую ванну осуществляется вдуванием струей газа-носителя, выстреливанием «пуль» или подачей материала в виде проволоки. Для ввода проволоки в расплав с расчетной скоростью разработаны трайб-аппараты.

Пятая группа объединяет способы модифицирования, микролегирования и инокулирования стали, предполагающие дозированный ввод в нее лигатур или модификаторов во время разливки.

Несмотря на многоплановость задач, решаемых с помощью различных способов внепечной обработки стали, и разнообразие этих способов, все из-

вестные технологические приемы, направленные на повышение качества получаемой металлопродукции, связаны с протеканием следующих процессов:

- удаления газов, растворенных в металле;
- взаимодействия жидкого металла с пузырьками вводимого в него газа;
- взаимодействия потоков металла с частицами твердых материалов, присаживаемых в расплав;
- взаимодействия струи металла с окружающей атмосферой.

Все перечисленные процессы, обуславливающие тепло-массоперенос в жидкой и газообразных средах, подчиняются законам гидрогазодинамики. Основные ее положения позволяют описать и объяснить особенности физических явлений, протекающих при внепечной обработке. Рассмотрим эти особенности на примере продувки металла инертными газами и обработки металлических расплавов шлаковыми смесями.

Продувка стали инертным газом, выгодно отличающаяся от других способов внепечной обработки сравнительно низкими затратами, позволяет успешно решать такие задачи, как снижение неоднородности металла по температуре и химическому составу, улучшению условий удаления из него неметаллических включений, а также частичная дегазация расплава.

В зависимости от поставленной цели для осуществления инъекционной обработки стали требуется не только применение соответствующих продувочных устройств, но и выбор оптимального места их установки и обеспечение требуемой интенсивности ввода инертного газа и режима его истечения в жидкий металл, поскольку названные факторы оказывают решающее влияние на гидродинамику процессов, протекающих в перемешиваемом расплаве. Например, для снижения градиента температуры стали в объеме ковша, а также колебаний концентраций содержащихся в ней элементов необходимо обеспечить устойчивую циркуляцию жидкого металла, исключаящую наличие «холодных» зон.

Указанные условия могут быть соблюдены при сосредоточенном вводе газа в расплав с помощью продувочного устройства, смещенного от центральной оси ковша к его боковой поверхности.

Эффективность применения способа внепечного рафинирования стали с целью десульфурации, раскисления и удаления неметаллических включений за счет использования шлаков и специальных смесей с определенными физико-химическими свойствами в значительной мере зависит от различных факторов, способствующих или, наоборот, препятствующих решению поставленных задач.

Скорость раскисления, легирования или десульфурации металла будет возрастать при повышении интенсивности перемешивания расплава в ковше. Поскольку в этом случае одновременно увеличиваются значения коэффициентов массопередачи и удельной поверхности за счет изменения гидродинамических условий циркуляции потоков жидкой стали.

Однако при определенных условиях интенсификация перемешивания расплава может вызвать и обратный процесс перехода вредных примесей в

металл. Например, если в ковш попадает значительное количество высокоокисленного печного шлака. Вероятность того, что десульфурация стали в ковше может не только прекратиться, но и перейти в ресульфурацию, очень велика.

Эффективность взаимодействия жидкой стали с реагентами, вводимыми различными способами с целью блокирования негативного влияния на ее структуру и свойства вредных примесей, во многом зависит не только от оптимального состава присаживаемых добавок, но и от обеспечиваемых условий подвода участвующих в химической реакции компонентов и последующего удаления из зоны реакции образовавшихся продуктов.

Физические процессы, обусловленные взаимодействием движущейся с большой скоростью струи стали и окружающей ее газовой или воздушной атмосферы, часто ослабляют положительные результаты, которых удалось добиться за счет внепечного воздействия на выплавленный металл.

Таким образом, успешное применение прогрессивных технологий повышения качества выплаваемой стали требует всестороннего изучения особенностей физических процессов, протекающих как в самом жидком металле, так и в граничащем с ним слое газовой или воздушной среды.

Широкое внедрение прогрессивных технологий внепечной обработки металла, как известно, привело к повышению эффективности сталеплавильного производства и качества стали. Дальнейшее развитие технологий повышения качества стали характеризуется следующими особенностями:

- расширением внедрения в практику комбинированных методов обработки жидкого металла, предусматривающих одновременное или последовательное воздействие на него двумя и более способами;
- разработкой принципиально новых методов обработки стали;
- развитием сравнительно простых способов внепечной обработки стали массового применения, обеспечивающих улучшение ее служебных свойств при минимальных дополнительных трудовых и энергетических затратах;
- совершенствованием конструкций продувочных устройств с целью повышения их газодинамических характеристик;
- созданием универсального оборудования, обеспечивающего совместное выполнение нескольких технологических операций;
- поиском новых составов рафинирующих смесей, позволяющих повысить эффективность очищения металла от вредных включений.

В ближайшем будущем следует ожидать заметного расширения применения комплексной обработки жидкого металла. Разработка прогрессивных технологий повышения качества выплаваемой стали требует не только принятия новых технологических решений, но и более глубокого понимания сущности физических явлений, лежащих в их основе.

Методики исследования и используемые при их проведении измерительные средства могут быть самыми разнообразными в зависимости от круга решаемых задач и имеющихся возможностей.

Теоретические и практические исследования в области вторичной металлургии в настоящее время немыслимы без использования математического и физического моделирования, тесно взаимосвязанных между собой.

Математическое моделирование является важным инструментом исследования и развития способов внепечной обработки стали, позволяющим с достаточной для практического применения точностью предсказать распределение полей скоростей потоков перемешиваемого металла, рассчитать содержание газа в газометаллической смеси при различных режимах продувки расплава и оценить интенсивность протекающих в объеме ковша (или агрегата) тепло- и массообменных процессов. Данные физического моделирования применяются для корректировки значений коэффициентов, входящих в разработанные математические модели, описывающие исследуемые технологические процессы.

УДК 669.168

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ФЕРРОСПЛАВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Нохрина О.И., Прошунин И.Е., Рожихина И.Д.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Важнейшей задачей металлургии является уменьшение вредного воздействия отходов металлургического производства на окружающую среду. С этой целью необходимо разрабатывать и внедрять в производство технологические процессы, обеспечивающие уменьшение отходов и их утилизацию.

Ферросплавное производство – крупный источник отходов: отвальных шлаков и пылегазовых выделений. Так при производстве марганцевых сплавов кратность шлака колеблется от 0,8 до 2,0 – 2,5. В отвальных шлаках содержится от 10 до 20 % марганца.

Наибольшее количество пылегазовых выделений приходится на углеродотермические процессы. Образующиеся колошниковые газы содержат 70 – 90 % оксида углерода и большое количество мелкодисперсной пыли. Так при производстве 1 т силикомарганца или ферромарганца выход газа составляет 900 – 1000 м³ с содержанием в нем пыли 20 – 30 г/м³, 30 – 35 % в которой приходится на MnO.

Задачей данного исследования являлось изучение технологических параметров процесса извлечения из отходов производства отвальных шлаков и шламов мокрой газоочистки ценного компонента – марганца, что позволит уменьшить вредное воздействие на окружающую среду этих отходов и практически полностью их утилизировать.

Для изучения возможности растворения марганца из отходов производства были использованы материалы, состав которых приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав марганецсодержащих материалов

Наименование	Химический состав, масс. %						
	Mn	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅
Шлам мокрой газоочистки	32,7	3,9	28,6	3,4	2,8	1,13	0,60
Шлак металлического марганца	18,0	но	30,00	5,00	38,00	5,00	но

Результаты, полученные в ходе изучения растворения оксидов и солей марганца и различных хлоридах в присутствии восстановителя и добавок раствора хлорида железа, легли в основу разработки новых, более эффективных способов переработки некоторых отходов производства.

Для извлечения марганца из отходов производства применили кальций-хлоридный способ, заключающийся в автоклавном выщелачивании марганца с использованием насыщенного раствора хлорида кальция с добавками до 5 % раствора хлорида железа. При этом в раствор практически полностью переходит марганец в виде MnCl₂ [1 – 4], содержащийся в исходном материале.

Высокому извлечению оксидов марганца из отходов производства способствует и высокая температура процесса (220 – 240 °С), которая на заключительной стадии выщелачивания способствует также и очистке раствора от избыточного количества FeCl₂. Последнее связано с тем, что избыток FeCl₂ при температуре, равной 220 – 240 °С, гидролизует, выпадая в осадок. Объем твердых продуктов значительно меньше объема растворяющихся веществ. Это приводит к тому, что введение FeCl₂ не только повышает полноту, но и ускоряет растворение марганца из оксидов и силикатов.

При изучении влияния фракционного состава на извлечение марганца было установлено, что лучшие результаты были получены при фракции минус 0,125 мм.

Для уточнения технологических параметров были проведены три серии экспериментов, которые показали высокую эффективность процесса.

Результаты обработки шлама газоочистки и отвального шлака приведены в таблице 2 и на рисунке 1.

Таблица 2 – Результаты обработки шлама мокрой газоочистки и отвального шлака

Наименование материала	Условия опыта				Извлечение Mn, %
	концентрация		температура, °С	время, ч	
	растворителя CaCl ₂ , масс. %	примесей (FeCl ₂), масс. %			
Шлам мокрой газоочистки	41,7	2,6	220	2	65,3
	40,9	4,8	220	2	72,0
Шлак металлического марганца	41,7	2,6	220	2	62,9
	40,9	4,8	220	2	86,3

Как видно из таблицы 2, используя автоклавную обработку насыщенным раствором хлористого кальция с добавками FeCl_2 можно извлекать на 72 – 86 % марганец из отвального шлака и шламов газоочистки.

Полученные результаты легли в основу разработки эффективной технологии переработки отходов силикотермического производства металлического марганца и шламов мокрой газоочистки ферросплавных печей, выплавляющих марганцевые сплавы (рисунок 2).

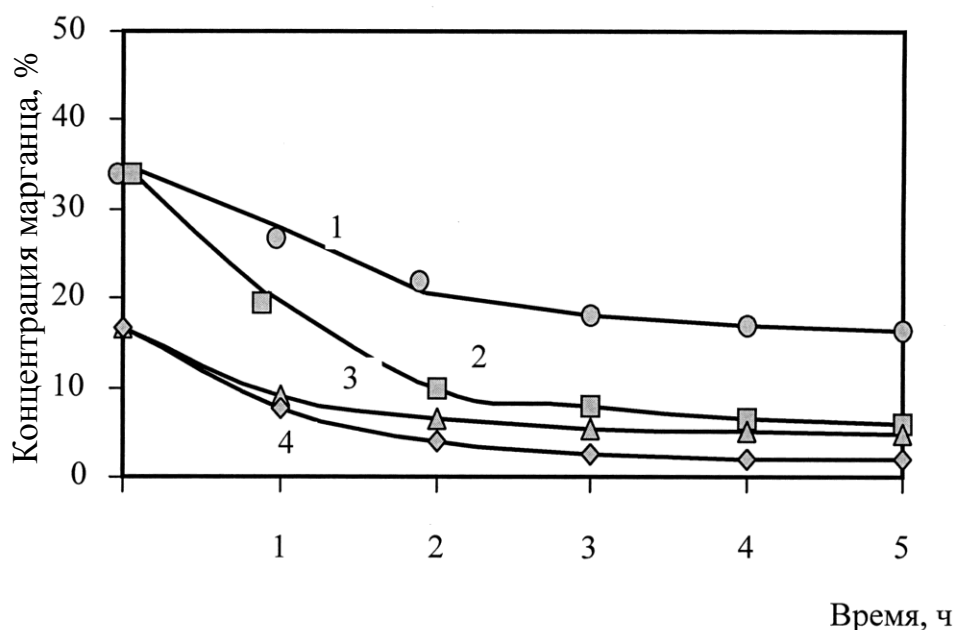


Рисунок 1 – Влияние длительности выщелачивания на содержание марганца в хвостах при обработке шламов (1, 2) и отвального шлака (3, 4) силикотермического производства растворами, содержащими 41,7 % CaCl_2 и 2,6 % FeCl_2 (кривые 1 и 3); 40,9 % CaCl_2 и 4,8 % FeCl_2 (кривые 2 и 4)

Технологическая схема включает измельчение исходного материала, подготовку растворов для выщелачивания (CaCl_2 и FeCl_2), и осаждения марганца $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, автоклавное выщелачивание, фильтрацию – раствор идет на осаждение марганца, а хвосты являются сырьем для производства цемента. После осаждения марганца осадок отфильтровывают, прокаливают. В результате получается высококачественный марганцевый концентрат. Образующийся раствор хлорида кальция возвращается в технологию.

Предлагаемая технология позволяет:

- извлекать из шлаков, шламов и пыли не менее 60 – 85 масс.% марганца с получением при этом высококачественных марганцевых концентратов;
- получать из дешевого сырья концентраты, практически не содержащие примесей цветных металлов, которые можно использовать как для плавки ферросплавов, так и производства активной перекиси марганца.

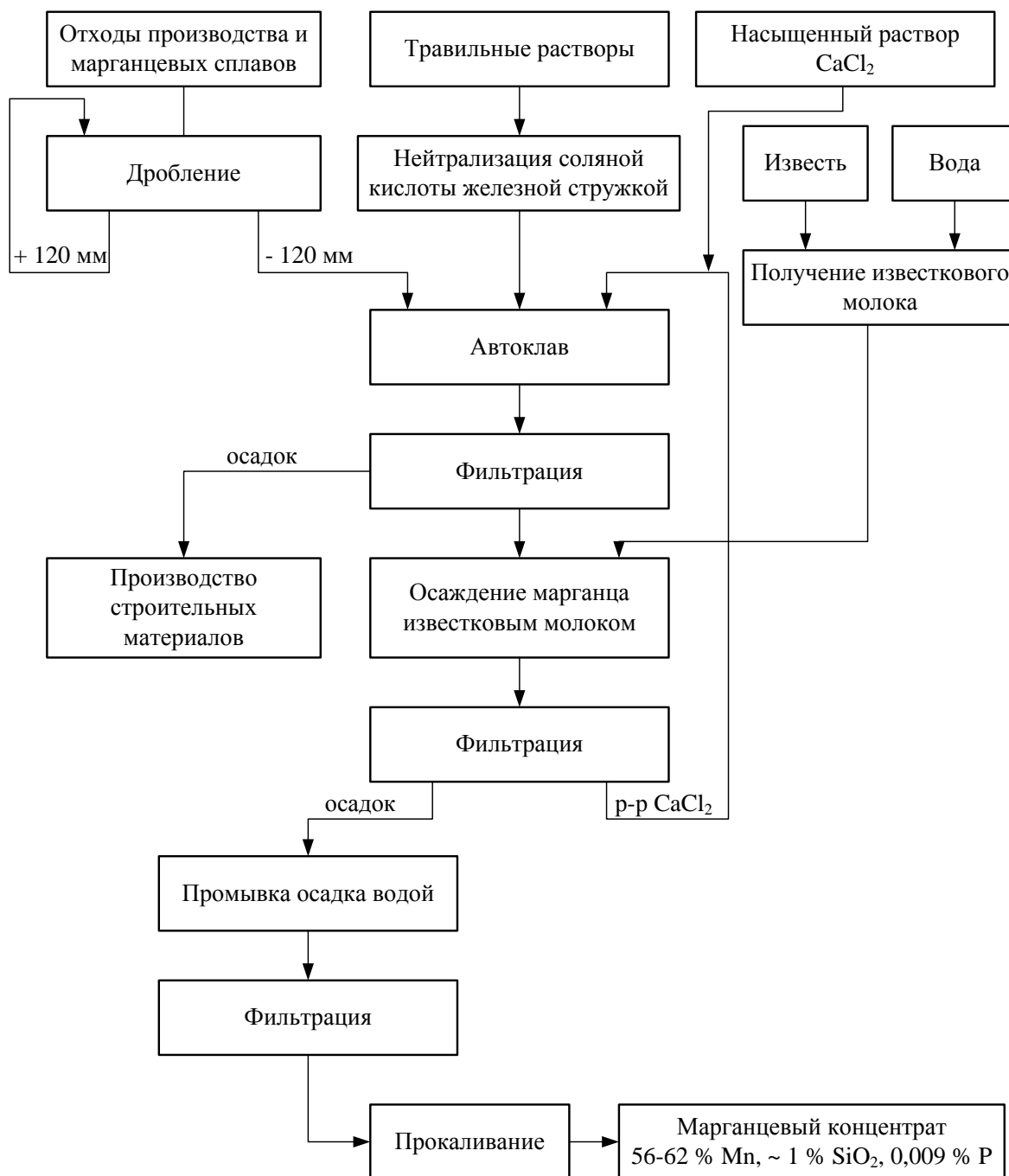


Рисунок 2 – Технологическая схема переработки

Включение в технологическую схему обогащения и производства марганцевых сплавов разработанной технологии извлечения марганца из отходов производства позволяет сделать процесс практически безотходным.

Высококачественные марганцевые концентраты также можно применять для обработки стали в ковше или агрегате типа печь-ковш. Из них изготавливались брикеты, в состав которых входили марганцевый концентрат, в качестве восстановителя – мелкодисперсная пыль из аспирационных установок, полученная при фракционировании ферросилиция марки ФС75, в качестве связующего – зола ТЭЦ [5]. Извлечение марганца составляет в среднем

80 – 85 %, что превышает его извлечение при обычном легировании стандартными ферросплавами.

Библиографический список

1. Толстогузов Н.В. Разработка малоотходной технологии переработки железомарганцевых конкреций и бедных марганцевых руд / Н.В. Толстогузов [и др.] // Сталь. – 1995. № 7. – С. 37 – 40.
2. Толстогузов Н.В. Химические способы обогащения карбонатных марганцевых руд / Н.В. Толстогузов, О.И. Нохрина, И.Д. Рожихина // Марганцевые руды. Актуальные проблемы образования, прогнозирования и поиска марганцевых руд. – С.-Пб., 1992. – С. 37.
3. Нохрина О.И. Получение высококачественных концентратов из марганцевых руд Кузбасса и их использование / О.И. Нохрина // Известия вузов. Черная металлургия. – 2003. – № 8. – С. 10 – 12.
4. Прошунин И.Е. Комплексная переработка железомарганцевых конкреций / И.Е. Прошунин, О.И. Нохрина // Известия вузов. Черная металлургия. – 2008. – № 8. – С. 21 – 23.
5. Нохрина О.И. Использование пыли и отходов фракционирования ферросилиция для раскисления и легирования стали в ковше / О.И. Нохрина, И.Д. Рожихина // Известия вузов. Черная металлургия. – 2002. – № 10. – С. 49.

УДК 669.046.01

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВАНАДИЯ ИЗ ОКСИДНЫХ ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ*

Голодова М.А., Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Дмитриенко В.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

В мировой практике производства сталей неизменной является тенденция замены рядовых углеродистых сталей на экономичные ресурсосберегающие высокопрочные микролегированные стали.

В настоящее время наиболее востребованным микролегирующим элементом является ванадий. Причиной такой востребованности стала эффективность легирования ванадием для получения металла с высокими служебными свойствами.

Ванадий является легирующим элементом, вызывающим измельчение зерна и дисперсионное твердение стали. Измельчение зерна улучшает проч-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования РФ в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 гг.

ность и вязкость стали, мелкодисперсные выделения увеличивают прочность за счет некоторой потери вязкости, но при измельченном зерне улучшается свариваемость сталей. Образование карбонитридов ванадия, обладающих высокой растворимостью в сталях, позволяет нейтрализовать негативное влияние азота и перевести его в разряд микролегирующих элементов, играющего решающую роль в легированных ванадием сталях для усиления их дисперсионного упрочнения. Кроме того, размер рекристаллизованного аустенитного зерна сталей, легированных ванадием, является постоянным в широком спектре температур.

Примерно 70 – 80 % производимого ванадия используется в качестве легирующего элемента для сталей следующего сортамента:

- высокопрочные строительные стали для сварных металлических конструкций;
- машиностроительные улучшаемые стали, рессорно-пружинные стали;
- жаропрочные стали и сплавы;
- высокопрочные немагнитные стали;
- инструментальные и подшипниковые стали;
- низколегированные стали для литых деталей ответственного назначения;
- стали для железнодорожного транспорта.

Основным способом легирования ванадием является применение феррованадия, а также сплавов и лигатур, получаемых непосредственно из ванадиевого шлака, а также ванадиевый чугуны, ванадиевый шлак стандартного и специального состава, ванадийсодержащий металлопродукт, получаемый при дроблении ванадиевого шлака, металлизированные окатыши и экзотермические брикеты. Последние методы, как правило, применяют при выплавке низколегированных сталей. Для определения условия восстановления ванадия из ванадийсодержащих оксидных материалов использовались методы термодинамического моделирования на основе расчета равновесных состояний в модельных термодинамических системах. Достоинство этих методов заключается в возможности быстро рассчитать равновесные состояния многокомпонентных систем, варьируя в широком диапазоне управляющие воздействия. Расчет термодинамического равновесия позволяет выяснить принципиальную возможность получения тех или иных веществ, выделить которых является основным при решении задачи оценки предельного конечного состояния, определить область допустимых значений параметров. При реализации термодинамического моделирования использовали готовый программный продукт – программный комплекс «Астра», разработанный в Московском государственном техническом университете, позволяющий на основе принципа максимума энтропии находить равновесный состав многокомпонентной, гетерогенной термодинамической системы для высокотемпературных условий.

Исследование процесса осуществлялось путем решения модельных за-

дач по определению условий восстановления ванадия в системах, входной поток которых состоит из совокупности элементов V-O-C-Fe-Si, представленной набором веществ $lV_2O_5 - nC - pFe_2O_3 - mSi$, где l – количество молей V_2O_5 , p – количество молей Fe_2O_3 , n – количество молей углерода, m – количество молей кремния. Исходный состав системы формировался заданием значений параметров l, p, n, m .

Методика исследования включала в себя следующие этапы: расчет возможных составов и определение термодинамических условий, необходимых для осуществления процесса восстановления ванадия; определение границ концентрационных областей протекания восстановительных процессов; нахождение параметров входного потока, при которых обеспечивается достижение оптимального состава системы в равновесных условиях.

На первом этапе решение задачи расчета возможных составов, которые могут получаться в результате протекания процессов восстановления ванадия в термодинамической системе, состоящей из элементов V-O-C, осуществлялось варьированием количества молей углерода в системе, что позволило оценить границы концентрационных областей протекания восстановительных процессов. Модельная система V-O-C формировалась путем задания исходного состава смеси в виде 1 моля оксида V_2O_5 и n молей углерода.

Перечень веществ, которые могут образовываться при заданном элементном составе смеси для диапазона температур от 1573 до 2273 К, определили в результате численного моделирования с помощью программного комплекса «Астры». Термодинамически возможное количество веществ, образующихся из указанных элементов для выбранного диапазона температур, составляло величину порядка 20. Все вещества по значению величины концентрации в конечном состоянии делили на значимые и незначимые с порогом различимости 10^{-4} моль/кг смеси. В качестве значимых веществ оказались конденсированные фазы, состоящие из C, V, VC, VO, V_2O_4 , V_2O_3 , V_2O_5 , и газовая фаза, состоящая из CO, CO_2 .

Расчет равновесных составов в системе V_2O_5+nC проводили при температуре 1873 К в пределах изменения параметра n от 0 до 10 молей. Результаты расчетов представлены на рисунке 1.

В составе конденсированной фазы (рисунок 1, а) можно выделить следующие четыре зоны. Первая зона соответствует расходу восстановителя от 0 до 2 молей. В этой зоне происходит восстановление высших оксидов ванадия до низших, причем V_2O_5 полностью исчезает при количестве углерода в системе, равном 1 молю, V_2O_4 – при 2 молях углерода. В этом диапазоне наблюдается резкий рост концентрации V_2O_3 до максимального значения и незначительный рост концентрации VO. Вторая зона соответствует расходу восстановителя от 2 до 3 молей. Для этой зоны характерны резкий рост концентрации VO и снижение содержания V_2O_3 до 20 % при расходе восстановителя, равном трем молям. Одновременно в системе появляется карбид ванадия VC и небольшое количество чистого ванадия. В третьей зоне, соот-

ветствующей расходу восстановителя от 3 до 7 молей, наблюдается уменьшение концентрации оксидов ванадия до полного исчезновения при n равном 7 молей. Содержание карбида ванадия и чистого ванадия при таком количестве восстановителя максимально и равно 45 и 2,3 % соответственно. В четвертой зоне при n больше 7 молей происходит снижение содержания карбида ванадия за счет появления в системе избыточного количества углерода. Концентрация ванадия становится равной 0 при расходе углерода 8 молей.

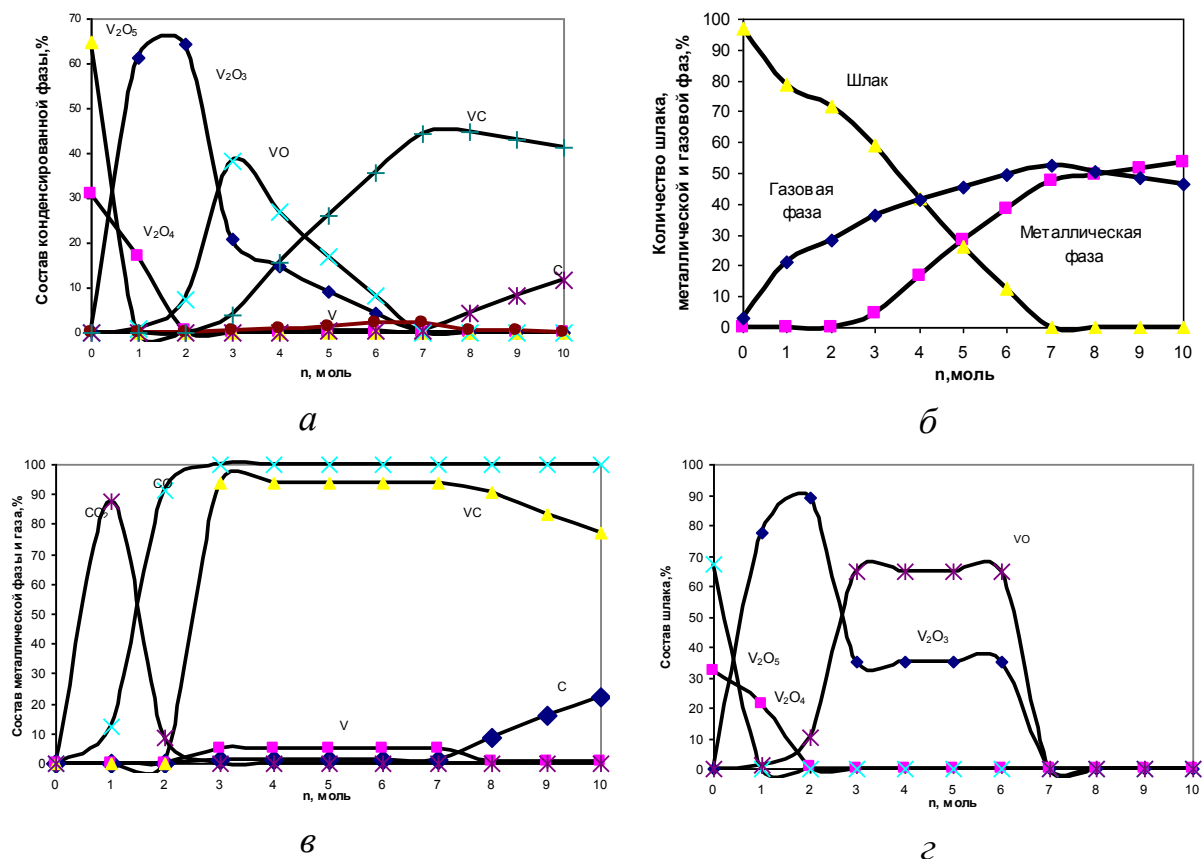


Рисунок 1 – Зависимости параметров процесса восстановления ванадия в системе V_2O_5-nC от расхода углерода n

Для более полного анализа восстановительных процессов, протекающих в системе V-O-C, конденсированную фазу условно разделили на две составляющих: металлическую и шлаковую. Металлическая фаза состояла из чистого ванадия, его карбида и чистого углерода, шлаковая – из оксидов ванадия. Зависимость количества металла, шлака и газовой фазы от расхода углерода приведены на рисунке 1, б. Из графиков следует, что металлическая фаза появляется при расходе углерода, равном 2 молям, при n от 2 до 3 молей происходит незначительное увеличение массы металла, а при n от 3 до 7 молей количество металла растет, а масса шлака уменьшается до 0. При расходе восстановителя более 7 молей количество металла увеличивается за счет накопления в нем углерода.

Образующаяся при восстановлении ванадия газовая фаза состоит из CO и CO₂, продуктов реакций восстановления оксидов ванадия углеродом. Количество газа увеличивается при росте расхода восстановителя до 7 молей, а при дальнейшем увеличении расхода, количество газа остается постоянным.

На рисунке 1, в приведены зависимости состава металлической и газовой фаз от расхода восстановителя. Чистый ванадий в незначительных количествах присутствует в металле в диапазоне от 2 до 8 молей углерода, в основном же металл образуется за счет карбида ванадия, максимальное содержание которого достигает 95 % в диапазоне от 3 до 7 молей углерода, а затем снижается за счет разбавления чистым углеродом, который в избытке присутствует в системе. При расходе углерода $n \leq 3$ молям в газовой фазе присутствует CO₂, при дальнейшем увеличении расхода углерода в системе CO₂ исчезает до следов, и газовая фаза состоит только из CO.

На рисунке 1, г представлены зависимости состава шлака от расхода углерода. Высшие оксиды ванадия полностью исчезают при n равном 2. Затем происходит рост концентрации VO до 65 % и снижение концентрации V₂O₃ до 35 %. В диапазоне n от 3 до 6 молей это соотношение не меняется, а при n от 6 до 7 молей содержание оксидов уменьшается до 0. Таким образом, можно сделать вывод, что процесс восстановления 1 моля оксида ванадия начинается при n равном 3 молям и заканчивается при n равном 7 молям, дальнейшее увеличение расхода восстановителя приводит к накоплению углерода в системе и исчезновению чистого ванадия в металлической фазе.

Исследование влияния температуры на процесс восстановления осуществляли путем расчета равновесных состояний элементарной системы V₂O₅ - nC в диапазоне температур от 1573 до 2273 К. На рисунке 2, а представлена зависимость количества восстановленного ванадия и его карбида от температуры при различных расходах восстановителя, на рисунке 2, б – зависимость от расхода восстановителя при различных температурах.

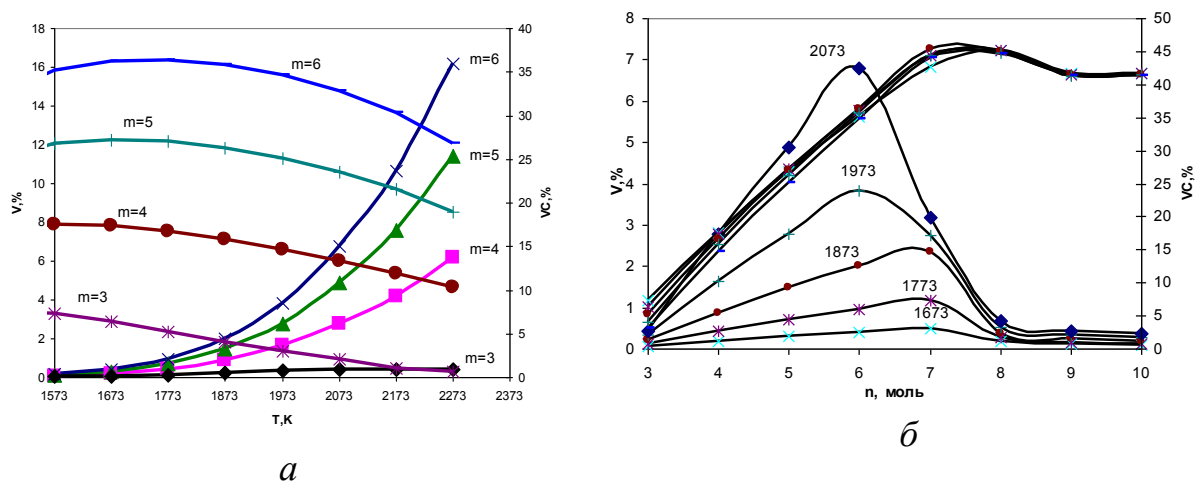


Рисунок 2 – Зависимости параметров процесса восстановления ванадия в системе V₂O₅-nC от расхода углерода n и температуры

Из рисунка 2, *а* видно, что температура оказывает существенное влияние на соотношение V/VC в системе. При увеличении температуры при достаточном количестве восстановителя содержание чистого ванадия в металлической фазе увеличивается, а его карбида – уменьшается. Так при температуре в 1873 К максимально достижимое количество ванадия составляет 2 %, при увеличении температуры до 2073 К, его количество возрастает до 7 % при n равном 6. На рисунке 2, *б* приведены зависимости количества ванадия и его карбида от расхода восстановителя при различных температурах. Из представленных данных видно, что количество чистого ванадия максимально при расходе углерода 6 молей, причем, чем выше температура, тем выше содержание ванадия в металле. Количество же карбидов зависит только от расхода восстановителя и не зависит от температуры.

На следующем этапе были проведены исследования процесса восстановления ванадия в присутствии оксида железа. Для этого в исходную систему V_2O_5-nC добавили 1 моль Fe_2O_3 . Расчет равновесных составов в системе $V_2O_5-nC-1Fe_2O_3$ проводили при температуре равной 1873 К и расходах восстановителя n от 0 до 10 молей. При этом были получены следующие вещества, образующие систему в равновесном состоянии: газовая фаза: CO, CO_2 ; конденсированная фаза – C, V, VC, VO, V_2O_4 , V_2O_3 , V_2O_5 , Fe, Fe_2O_3 , FeO. Результаты расчетов состава металлической фазы и шлака приведены на рисунке 3.

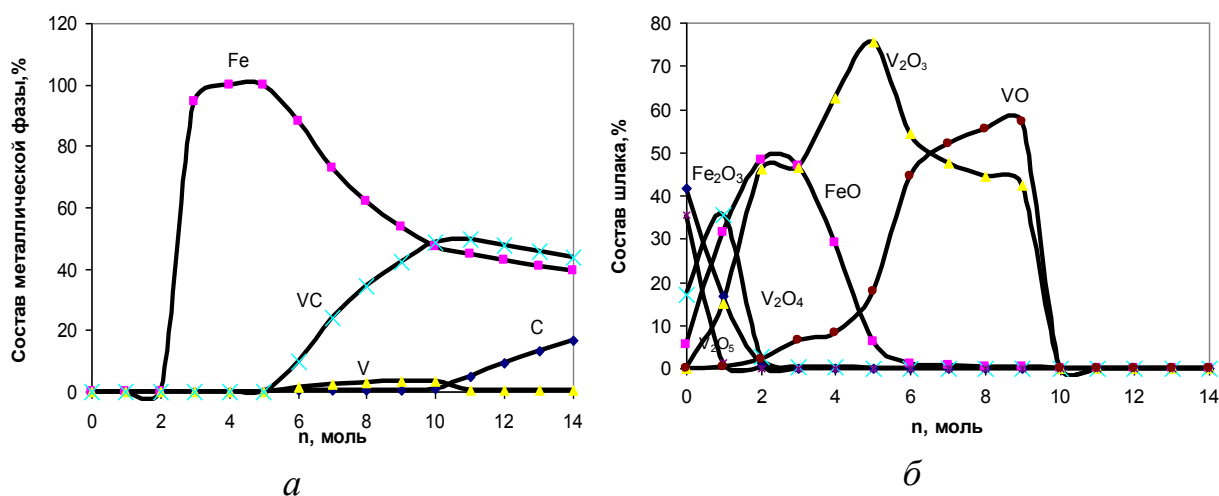


Рисунок 3 – Зависимости параметров процесса восстановления ванадия в системе $V_2O_5-nC-Fe_2O_3$ от расхода углерода

Из полученных зависимостей следует, что область восстановления ванадия смещается вправо, так как в первую очередь происходит восстановление железа. Восстановление ванадия начинается после полного восстановления железа при n равном 5 молям (рисунок 3, *а*), в металлической фазе появляется чистый ванадий и его карбид, и заканчивается при n равном 10. Дальнейшее увеличение расхода восстановителя приводит к исчезновению чистого ванадия и накоплению углерода в расплаве. Определенный интерес

представляет оксидная фаза (рисунок 3, б), высшие оксиды ванадия исчезают также, как и в предыдущем случае (без Fe_2O_3), при n , равном 1 и 2 моля соответственно, Fe_2O_3 исчезает при $n = 2$ моля, когда количество FeO в шлаке максимально и составляет примерно 38 %. Количество V_2O_3 неравномерно растет в диапазоне от 0 до 5 молей углерода до 76 % и исчезает при n равном 10 молей. Количество VO увеличивается в диапазоне изменения n от 1 до 9 молей до 57 % и исчезает также при n равном 10 молей. В присутствии железа процесс восстановления ванадия полностью завершен при n равном 10 молей.

На следующем этапе были проведены исследования процесса восстановления ванадия в присутствии кремния. Исходная система представлена следующим набором веществ: $1\text{V}_2\text{O}_5-n\text{C}-1\text{Fe}_2\text{O}_3-m\text{Si}$. В равновесии в конденсированной фазе в зависимости от значений параметров n и m могут присутствовать следующие вещества C , V , VC , VO , V_2O_4 , V_2O_3 , V_2O_5 , Fe , Fe_2O_3 , FeO , Si , SiO_2 , SiC . Расчеты проводили для различных значений n при температуре 1873 К при расходах кремния m от 1 до 4 молей. Результаты расчетов приведены на рисунке 4.

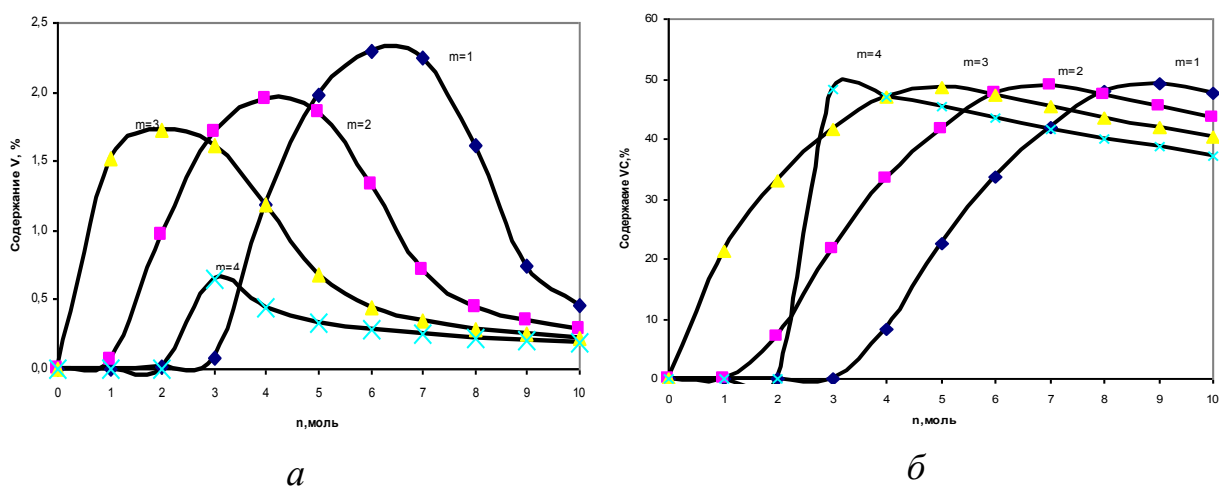


Рисунок 4 – Зависимости параметров процесса восстановления ванадия в системе $\text{V}_2\text{O}_5-n\text{C}-\text{Fe}_2\text{O}_3-m\text{Si}$ от расхода углерода при различных значениях параметра m

Представленные на рисунке 4 зависимости показывают, что содержание чистого ванадия в металлической фазе снижается при увеличении количества кремния в системе. Например, при расходе кремния 1 моль максимальное содержание ванадия в металле составляет 2,3 % ванадия и достигается при расходе углерода 6 молей, а при расходе кремния 4 моля содержание ванадия в металле достигает 0,65 % ванадия при n , равном 3. Содержание карбида ванадия максимально для расхода кремния от 1 до 4 молей при расходе углерода 9, 7, 5 и 3 моля соответственно. Причем максимальное содержание карбида постоянно и составляет примерно 49 %.

В связи с тем, что система в реальных условиях находится во взаимодействии с расплавом железа, были проведены исследования влияния его на равновесные состояния системы. Расчеты проводились для расхода углерода 5 молей и расхода кремния 3 моля. Количество железа изменяли от 0 до 100 молей. Результаты расчетов состава металлической фазы и шлака представлены на рисунке 5.

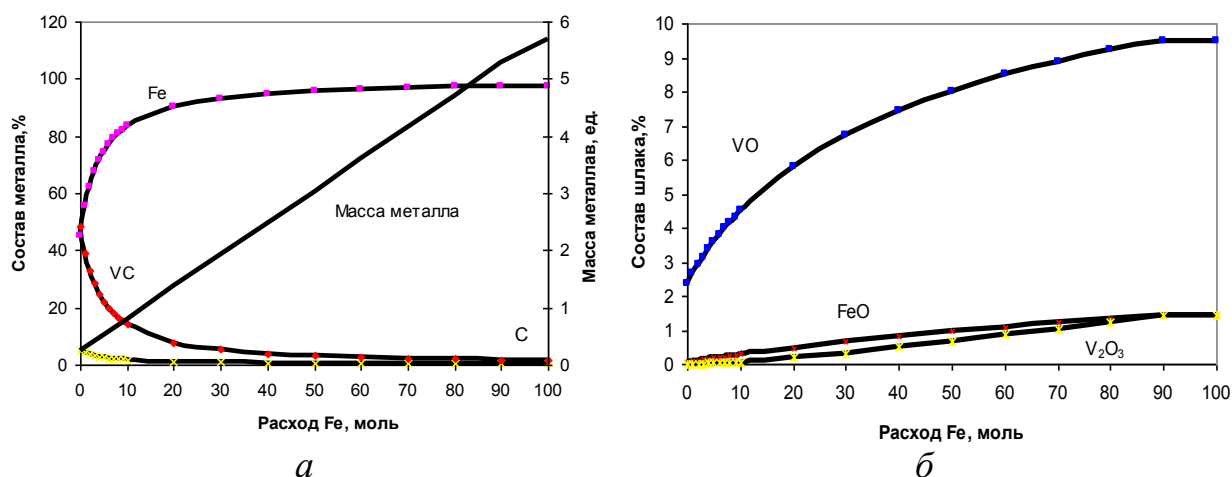


Рисунок 5 – Зависимости параметров процесса восстановления ванадия в системе $V_2O_5-nC-Fe_2O_3-mSi$ от расхода Fe

В составе металлической фазы (рисунок 5, а) можно выделить три зоны. В первой зоне, до 20 молей железа, происходит резкое падение содержания VC (от 48,56 до 7,96 %). Во второй зоне, при расходе железа от 10 до 50 молей, уменьшение содержания VC продолжается, но уже медленнее, при 50 молей железа содержание VC составляет 2,25 %. В третьей зоне, при расходе железа свыше 50 молей содержание VC практически не меняется. Количество шлака с увеличением расхода железа не изменялось. Однако необходимо отметить значительное возрастание содержания VO в шлаке (рисунок 5, б).

Выполненные расчеты показывают, что в рассматриваемой системе восстановление ванадия проходит с преимущественным образованием карбида VC, причем его содержание практически одинаково при различных значениях параметров и составляет примерно 49 %. Количество образующейся карбидной составляющей, в отличие от восстановления до чистого ванадия, не зависит от температуры процесса. Повышение содержания кремния в системе способствует более раннему переходу ванадия в металлическую фазу.

Полученные результаты расчетов в дальнейших исследованиях позволят определить наиболее оптимальные условия при обработке стали в агрегате печь-ковш ванадийсодержащими материалами.

ПРИМЕНЕНИЕ ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩЕГО ШЛАКА ДЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ВАНАДИЕМ*

**Нохрина О.И., Дмитриенко В.И., Рожихина И.Д.,
Голодова М.А., Гизатулин Р.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

В ОАО «НКМК» разработали и внедрили технологию микролегиrowания стали ванадием из ванадийсодержащего шлака.

В сталеплавильном производстве комбината есть опыт использования ванадийсодержащего шлака для прямого легирования рельсовой стали как в мартеновских, так и в электросталеплавильном цехах.

При производстве мартеновской стали легирование производилось присадкой шлака и алюминиевой дроби на выпуске, а в электросталеплавильном цехе путем введения шлака в смеси с известью и плавиковым шпатом в 100-т электропечь с переводом окислительного печного шлака в восстановительный. Степень извлечения ванадия из шлака при производстве мартеновской стали составляла 70 – 85 %, а при выплавке электростали 78 – 97 %.

После реконструкции ЭСПЦ внедрена современная технология производства стали. Выплавка металла производится по двухстадийной технологии: получение полупродукта в ДСП, внепечная обработка в агрегате ковш-печь, разливка на сортовой МНЛЗ. Эта технология предоставляет новые возможности проведения технологических операций по микролегиrowанию и повышению качества выплавляемого металла.

Для этих условий и была разработана и опробована технология микролегиrowания стали ванадием из ванадийсодержащего шлака.

В 100-т дуговых сталеплавильных печах металл расплавляли, проводили дефосфорацию, обезуглероживание, нагревали металл до заданной температуры. После этого металл выпускали в сталеразливочный ковш с отсечкой печного шлака. Во время выпуска в ковш присаживали раскислители и шлакообразующую смесь, состоящую из извести и плавикового шпата с расчетным количеством ванадийсодержащего шлака. Материалы отдавались из совка, подвешенного на кране, после заполнения ковша металлом на 1/4 – 1/3. Далее ковш с металлом направлялся на обработку, в установке ковш-печь.

На установке ковш-печь проводили усреднительную продувку, отби-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования РФ в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 гг.

рали пробы металла и шлака. После получения анализов проводили окончательное легирование металла. По ходу обработки шлак периодически раскисляли присадками 75 % ферросилиция и коксового порошка. При необходимости металл науглероживали вдуванием коксовой пыли с установок сухого тушения кокса. Продолжительность внепечной обработки составила в среднем 40 мин.

Для микролегирования использовали конверторный ванадийсодержащий шлак марки ШИВд-1, с содержанием окиси ванадия V_2O_5 – 17,6 %.

Была проведена 31 плавка на ДСП № 1 и 33 плавки на ДСП № 2. Плавки обрабатывались в установках печь-ковш № 1 и № 2 и разливались на МНЛЗ в заготовку сечением 300×330.

Поставка металла потребителю осуществлялась в виде непрерывнолитой заготовки.

Анализ результатов промышленного опробования показал, что восстановление ванадия из ванадийсодержащего шлака происходит в два этапа:

- первый этап – восстановление во время выпуска в ковше при формировании шлака из шлакообразующей смеси;
- второй этап – довосстановление ванадия во время внепечной обработки стали в установке ковш-печь.

Сравнение этих этапов говорит о том, что основная доля ванадия переходит в металл во время выпуска – 70 – 90 %. Эти показатели близки данным которые имели место при отсутствии внепечной обработки стали в установках ковш-печь.

Обработка металла в У КП обеспечивает полное извлечение ванадия. Сквозной коэффициент извлечения ванадия, усредненный по всем плавкам составил 101 %. Превышение извлечения свыше 100 % на наш взгляд объясняется наличием остаточного содержания ванадия в выпускаемом из печи металле. Специально остаточный ванадий не определялся кроме нескольких выборочных плавков, где его количество зафиксировали на уровне менее 0,01 %.

Возможный источник ванадия, использовавшийся при выплавке, жидкий чугун, при производстве которого применялись качканарские окатыши.

Оценка влияния различных технологических параметров выплавки (таких как температура выпуска, содержание углерода, окисленность шлака в ковше, основность шлака) на извлечение ванадия во время выпуска из печи не выявила каких-либо значимых зависимостей.

Тем не менее, разница в усвоении ванадия после выпуска из ДСП № 1 и ДСП № 2 получилась значительная. Для ДСП № 1 усредненный коэффициент усвоения составил 89,8 % в то время как для ДСП № 2 только 66,0 %. Этот факт объясняется тем, что ДСП № 1 имеет чайниковую систему выпуска а ДСП № 2 – эркерную. Большая высота падения струи металла в ковш, менее компактная струя, значительное перемешивание металла и шлака способствуют лучшей кинетике процесса восстановления ванадия.

Выводы:

- усвоение ванадия из шлака происходит в две стадии;
- на промежуточной стадии усвоение ванадия определяется степенью перемешивания металла и шлака;
- обработка стали на установках типа ковш-печь обеспечивает извлечение ванадия близкое к 100 %;
- для более точного микролегирования ванадием из ванадийсодержащего шлака необходимо учитывать остаточное содержание ванадия перед выпуском металла из печи.

УДК 621.771

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ КАТАНКИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ ПРОВОЛОКИ

**ЛЕБОШКИН Б.М., ОБУХОВ Г.В., ТЯПКОВ М.А.,
РУДАЕВА П.Б., ПРОСКУРИН В.П.**

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

В ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат» (ОАО «ЗСМК») для изготовления проволоки применяется катанка по ГОСТ 30136-94 из углеродистой стали обыкновенного качества по ГОСТ 380-94, по ТУ-14-4760-89 из низкоуглеродистой стали марки Св-08А и по ТУ 14-1-4782-90 из легированной стали марки Св-08Г2С по ГОСТ 2246-70. Катанка производится по технологии одностадийного охлаждения с прокатного нагрева.

В соответствии с планом технического перевооружения в конце 2008 г. в цехе проволоки и метизов введены в эксплуатацию новые машины механической очистки поверхности катанки от окалина фирмы «Ernst Koch GmbH & Co.KG» (Германия). Машины установлены в линиях станов многократного волочения магазинного типа фирмы «SKET» и предназначены для очистки от окалина катанки диаметром до 6,5 мм из углеродистой стали со скоростью протягивания до 2,0 м/с. Первый блок машин включает в себя роликовое устройство знакопеременного изгиба катанки типа WEZ-1, второй блок – щеточное устройство модели RWCB/400-3 (рисунок 1).

Окалиноломатель типа WEZ-1 оборудован пятью правильными и тремя изгибающими роликами. Ролики снабжены вставками из твердого сплава и расположены таким образом, что катанка подвергается изгибу в двух плоскостях. В процессе очистки от окалина катанка проходит через впускную воронку, правильный механизм, через ролик 1, вокруг ролика 2, вверх через ролик 3 и через выпускную воронку к щеточной машине для удаления окалина модели RWCB/400-3.

Щеточное устройство модели RWCB/400-3 оснащено шестью тарель-

чатыми щетками дискового типа, расположенными попарно в трех плоскостях. Ворс щеток изготовлен из проволоки, по химическому составу соответствующей стали марки 70, диаметр ворса 0,25 мм, длина – 60 мм, плотность набивки (отношение площади ворса щетки к площади рабочей поверхности) – 0,30. Подвод щеток к катанке осуществляется с помощью пневматических систем. При помощи регуляторов давления можно устанавливать требуемое давление прижима для каждой щеточной пары. Максимально допустимое давление прижима 6 бар. В процессе очистки от окалины катанка проходит через направляющие воронки, первый, второй и третий щеточные модули к первому блоку стана.



Рисунок 1 – Окалиноломатель типа WEZ1 и щеточная машина для удаления окалины модели RWCB/400-3

При обработке металла щетками на его поверхности образуется микрорельеф, зависящий от параметров обработки. Микрорельеф поверхности катанки влияет на количество захватываемой смазки, усилие волочения, которые определяют стойкость инструмента и энергозатраты. При обработке металлических поверхностей щетками происходит очистка от окисных и адсорбированных пленок, формируется микрорельеф поверхности, обнажаются чистые металлические поверхности, обладающие высокой химической активностью и адгезионной способностью. Микрорельеф поверхности катанки или проволоки с оптимальными характеристиками обеспечивает при воло-

чении стабильный захват смазочного материала в очаг деформации, получение смазочной пленки толщиной, достаточной для разделения поверхностей волоки) и обрабатываемого металла (катанки) [1].

Проведены исследования по определению оптимальных параметров механической очистки катанки на установках WEZ-1 и RWCB/400-3. Из сортамента марок стали катанки, применяемой при изготовлении проволоки в ОАО «ЗСМК», катанка легированной стали марки Св-08Г2С имеет наиболее трудноудаляемую окалину с максимальной адгезией к поверхности металла. Так, например, в работе [2] приведены данные, что при гидромеханическом удалении прокатной окалины для качественной обработки поверхности минимальное значение силы удара струи для кремнисто-марганцовистых сталей в 2,5 раза больше, чем для углеродистых сталей. По сравнению с требованиями к проволоке из низкоуглеродистых марок стали, к сварочной проволоке марки Св-08Г2С предъявляются более высокие требования к качеству поверхности. По этим причинам для определения оптимальных параметров механической очистки машиной фирмы «Ernst Koch GmbH & KG» была выбрана катанка диам. 6,5 мм стали марки Св-08Г2С. Исследования проводили при волочении передельной проволоки диам. 4,0 мм и готовой проволоки диам. 1,6 мм ГОСТ 2246-70.

При настройке окалиноломателя типа WEZ-1 правильные ролики установили так, чтобы выпрямленная катанка находилась по центру впускной воронки и касалась дна ручьев нижних и верхних правильных роликов и дна ручья первого ролика для удаления окалины. Образцы катанки отбирали с внутренних витков мотка катанки и после механической очистки с барабана первого блока стана, скорость прохода катанки в щеточной машине RWCB/400-3 составляла 152 м/мин.

При повышении давления прижима щеточных пар (Р) от 0,4 до 1,1 бар количество остаточной окалины на поверхности металла изменялось в пределах от 0,73 до 0,42 кг/т (минимальное значение 0,42 кг/т при Р = 0,6 бар). Из анализа зависимости количества остаточной окалины на поверхности катанки от давления прижима щеточных пар для изготовления опытной партии передельной проволоки было выбрано давление прижима Р = 0,6 бар.

Параметры маршрутов волочения передельной проволоки диам. 4,0 мм и готовой проволоки диам. 1,6 мм приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры маршрутов волочения проволоки диам. 4,0 и 1,6 мм

Диаметр, мм		Обжатие, %		Скорость волочения	
заготовки	проволоки	среднеединичное	суммарное	№	м/мин
6,5	4,0	17,7	62	1	330
4,0	1,6	23,3	84	2	489

Процесс волочения протекал стабильно, без обрывов проволоки и замен волок.

Катушки проволоки были подвергнуты отжигу в проходной печи с за-

щитной атмосферой. Волочение готовой проволоки диам. 1,6 мм проводили на станах типа SKET 7/350. В процессе переработки передельной проволоки отбирали образцы на количество остаточной смазки. Образцы отбирали при заправке со всех блоков стана, а также после водо-воздушной очистки с мотков готовой проволоки. Количество смазки на поверхности по ходу волочения проволоки уменьшается с 2,59 до 1,62 г/м² – в 1,6 раза

В соответствии с ГОСТ 2246-70 на поверхности готовой легированной проволоки допускается наличие следов мыльной смазки в количестве не более 0,05 % от массы проволоки (0,5 кг/т). Количество остаточной смазки на поверхности готовой проволоки соответствует требованиям.

Для оценки влияния давления прижима щеточных пар на стойкость волочильного инструмента и качество поверхности проволоки проведен статистический анализ указанных параметров при производстве проволоки диам. 2,5 – 4,0 мм ТУ 14-4-828-77, ГОСТ 3282-74 и ГОСТ 6727-80.

При производстве проволоки низкоуглеродистых марок стали давление прижима устанавливали 0,4, 0,5 или 0,6 бар. Определяли объем производства проволоки, расход волок и стойкость волочильного инструмента за период работы на одном значении давления прижима щеточных пар, отбирали образцы проволоки для определения количества остаточной смазки и окалины. Рассчитаны средние значения количества остаточной смазки и окалины на поверхности проволоки низкоуглеродистых марок стали при разных значениях давления прижима щеток. Полученные зависимости качества поверхности проволоки и стойкости волочильного инструмента от давления прижима щеток представлены на рисунках 2 и 3.

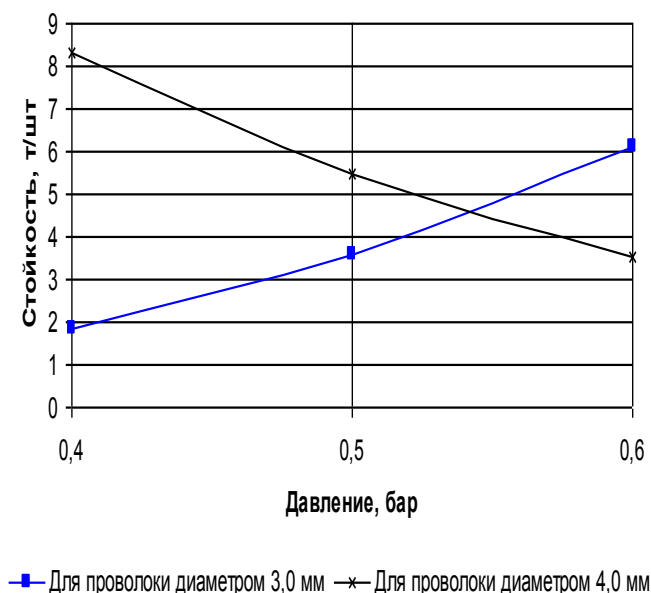


Рисунок 2 – Зависимость количества остаточной смазки и окалины на поверхности проволоки низкоуглеродистых марок стали от давления прижима щеточных пар

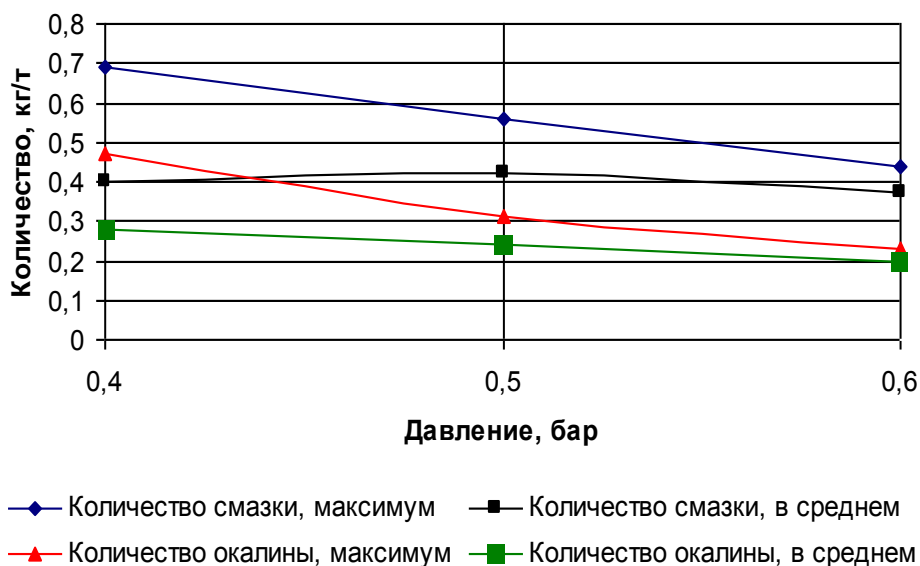


Рисунок 3 – Зависимость стойкости волок от давления прижима щеточных пар при волочении проволоки низкоуглеродистых марок стали

Анализ зависимостей качества поверхности для проволоки низкоуглеродистых марок стали (рисунок 2) показывает, что с повышением давления прижима щеток с 0,4 до 0,6 бар:

- среднее количество технологической смазки и остаточной окалины снижается (соответственно, в 1,1 и 1,3 раза);
- максимальное количество технологической смазки и остаточной окалины значительно снижается (соответственно, в 1,6 и 2,1 раза).

Анализ зависимостей стойкости волочильного инструмента для проволоки низкоуглеродистых марок стали (рисунок 3), показывает, что с повышением давления прижима щеток с 0,4 до 0,5 и с 0,5 до 0,6 бар:

- для проволоки диам. 3,0 мм стойкость возрастает, соответственно, в 1,9 и 1,7 раза (составляет, соответственно, 1,86, 3,56 и 6,11 т/волоку);
- для проволоки диам. 4,0 мм стойкость снижается в 1,5 раза (составляет, соответственно, 8,31, 5,45 и 3,55 т/волоку).

Полученные зависимости объясняются более напряженными условиями деформации при волочении проволоки диам. 3,0 мм по сравнению с волочением проволоки диам. 4,0 мм: – среднеединичное обжатие выше в 1,5 раза, прочностные свойства металла выше в 1,1 раза. С повышением обжатий и прочностных свойств количество технологической смазки в очаге деформации уменьшается и, следовательно, требуется меньшее количество остаточной окалины в качестве подсмазочного слоя. Данное требование обеспечивается повышением давления прижима щеток.

Анализ статистических данных по качеству поверхности и стойкости волочильного инструмента для проволоки низкоуглеродистых марок стали, приведенных на рисунках 2 и 3, показывает, что оптимальные значения давления прижима щеток составляют:

– для проволоки с повышенными требованиями к качеству поверхности ТУ 14-4-828-77, ГОСТ 3282-74 диам. 2,5 – 3,0 мм – 0,6 бар, диам. 3,5 – 4,0 мм – 0,5 бар;

– для проволоки ГОСТ 6727-80 диам. 3,0 мм – 0,6 бар, диам. 4,0 мм – 0,4 бар.

Реализация предложенных рекомендаций позволила повысить качество готовой проволоки. В 2009 г. в ОАО «ЗСМК» проволока всего сортамента производится из механически очищенной катанки.

Библиографический список

1. Платов С.И., Терентьев Д.В., Анцупов В.П. Технология производства проволоки из заготовки с регламентируемым микрорельефом поверхности: Монография. – Магнитогорск: МГТУ. – 2004. – 110 с.
2. Пути повышения эффективности систем гидромеханического удаления окалины станов горячей прокатки / Ю.Е. Бердичевский // Сталь – 2004. – №7. – С. 44 – 48.

УДК 378.17

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ

Лубяная С.В., Лубяной Д.А., Котова Е.В.

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

В настоящее время все большее внимание уделяется инновационным методам в обучении студентов. Это становится наиболее актуальным именно сейчас, когда оборудование не достаточно обновляется и работает зачастую на износ. Будущие инженеры должны иметь четкое представление, какие процессы происходят в деталях машин и механизмов, чем они вызваны, к каким последствиям ведут и как их можно с минимальными потерями избежать. Инженер легко должен ответить на вопрос, что целесообразнее – отремонтировать деталь или заменить ее новой. Познавательные процессы (восприятие, память, мышление, воображение) входят как составная часть в любую человеческую деятельность и обеспечивают ту или иную ее эффективность. Наглядные пособия активизируют восприятие, тем самым помогают лучше запомнить учебный материал, вследствие того, что человек способен уже мыслить образами и не опираться на заученные факты. Спектр наглядных пособий должен быть максимально широким: микрошлифы, фотографии структур стали, чугуна, серных отпечатков, дефектов отливок и прочее. Предлагаемые наглядные пособия, видеофильмы, ролики помогают сконцентрировать внимание. При этом внимание не выступает как самостоятельный процесс. Его результатом является улучшение всякой деятельности, к

которой оно направлено. Непроизвольное внимание устанавливается и поддерживается независимо от намерений учащегося. Произвольное внимание – это сознательно направляемое и регулируемое внимание. И мы сознательным усилием направляем наше внимание в соответствии с задачами, которые перед нами встают, целями, которые мы ставим. Одной из главных целей в данном случае является обучение посредством зрительного восприятия. Работа органов чувств и соответствующие ей субъективные образы-ощущения составляют основу восприятия. Восприятие возникает в результате синтеза ощущений с помощью представлений и имеющегося опыта. Студенты, не имеющие никакого опыта, будут иметь большее представление о том или ином объекте посредством зрительного восприятия через просмотр видеофильмов и наглядных пособий. В заключении отметим, однако, что важнейшим условием получения глубоких знаний, конечно же, является практика на рабочем месте, специализированные экскурсии на металлургическое предприятие с обязательным знакомством с лабораториями и основными производствами.

УДК 621.746

ОПРОБОВАНИЕ ФУРМ ДЛЯ ПРОДУВКИ АРГОНОМ В КОНВЕРТЕРНОМ ЦЕХЕ № 1 ОАО «ЗСМК»

**Лубяной Д.А., Соколов В.В., Макшаев А.А.,
Плотников А.В., Лубяной Д.Д.**

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

В последние годы на ОАО «ЗСМК» в литейных цехах комбината широко применялась продувка металла в ковшах методом резонансно-пульсирующего рафинирования [1]. Применение продувки металла этим способом позволило существенно снизить количество спели в чугуна, получив при этом благоприятную микроструктуру чугуна, значительно повысить усвоение ферросплавов. Результаты внедрения этой технологии подробно изложены в монографиях [1, 2]. На этих эффектах было разработано также устройство для защиты струи металла от вторичного окисления при непрерывной разливке (Патент № 86125). Данное устройство позволяет существенно снизить окисление алюминия в металле сократить насыщение металла азотом [3]. Данные эффекты целесообразно было бы опробовать и использовать и при внепечной обработки в конвертерных цехах комбината.

С целью оценки эффективности фурм с газодинамическим пульсатором были проведены 3 серии опытных плавов (36 плавов). Для определения влияния данной конструкции на угар элементов при продувке были проведены испытания на стали 3 ПС, без присадок ферросплавов на УДМ (приведены в таблице 1).

Таблица 1 – Сравнительные испытания фурм

Хим.состав металла и шлака	Тип фурмы	Место отбора	8-9 плавки от начала эксплуатации фурмы	10 плавка	12 плавка	
Mn	Фурма без пульсатора	Ковшев. проба	0,56	0,50	0,58	
Mn		Марк.	0,52	0,48	0,51	
		1 слиток	0,50	0,47	0,51	
		12 слиток	0,50	0,47	0,51	
Si		Ковшев. проба.	0,11	0,08	0,13	
Si		Марк.	0,09	0,07	0,09	
		1 слиток	0,08	0,07	0,09	
		12 слиток	0,08	0,06	0,08	
C		Ковшев. проба	0,20	0,20	0,20	
C		Марк.	0,20	0,20	0,20	
		1 слиток	0,19	0,20	0,18	
		12 слиток	0,19	0,19	0,18	
Mn		Фурма с газодинамическим пульсатором	Ковшев. проба.	0,52	0,47	0,50
Mn			Марк.	0,49	0,44	0,48
	1 слиток		0,51	0,45	0,48	
	12 слиток		0,50	0,45	0,47	
Si	Ковшев. проба.		0,09	0,09	0,09	
Si	Марк.		0,08	0,08	0,08	
	1 слиток		0,09	0,08	0,09	
	12 слиток		0,09	0,08	0,08	
C	Ковшев. проба.		0,22	0,20	0,20	
C	Марк.		0,20	0,18	0,19	
	1 слиток		0,20	0,18	0,19	
	12 слиток		0,20	0,18	0,19	

Анализ таблицы показал, что фурмы с пульсатором и без пульсатора начиная с 8 – 9 плавки, на которых серповидный наконечник сгорел имеют различный угар легирующих элементов. Так угар марганца на 12 плавке без пульсатора достигает 0,07 %, а кремния 0,04 %. Он особенно увеличивается при отливке последних слитков из-за взаимодействия со шлаком при продувке.

Угар марганца на плавках с пульсатором значительно ниже: марганца 0,02 – 0,03 %, а кремния 0,01 %, что обеспечивает снижение угара марганца и кремния на 0,04 – 0,05 % и 0,03 %, что эквивалентно 15 – 17 кг ферромарганца 13 – 16 кг ферросилиция на плавку.

Испытания показали, что на фурмах с пульсатором при отгаре наконечника с серповидным соплом перемешивание металла и угар элементов находится практически на том же уровне, что и на фурме с серповидным соплом.

Фурма с пульсатором легко изготавливается и после закрепления цилиндрического пульсатора практически в дальнейшем может эксплуатироваться годами. Применение пульсаторов позволяет полностью устранить выплески металла при отгаре серповидных сопел, которые наблюдались ранее.

После опробования можно сделать следующие выводы:

Фурма с газодинамическими пульсаторами технологична, легко вписывается в действующую в цехе технологию и при внедрении требует разовых, минимальных затрат. Эксперименты показали, что применение фурм данной конструкции позволяет после 8 плавки значительно снизить угар ферросилиция и ферромарганца и экономить до 15 – 17 кг ферромарганца и 13 – 16 кг ферросилиция на плавку.

Библиографический список

1. Эффективность современных способов повышения качества изделий из чугуна и развитие металлургических и машиностроительных предприятий в условиях конкуренции / Д.А. Лубяной, Б.А. Кустов, Н.И. Новиков и др. / Под ред. к.т.н. Лубяного Д.А. и к.э.н. Новикова Н.И. – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН. – 2004. – 131 с.
2. Стратегическое управление развитием предприятий черной металлургии Западно-Сибирского региона / Н.И. Новиков, В.А. Быстров, Д.А. Лубяной. Отв. ред.: В.В. Титов, Н.И. Новиков. – Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2006. – 288 с.
3. Лубяной Д.А., Фойгт Д.Б., Соколов В.В. и др. Инновации по защите струи металла при разливке на сортовой МНЛЗ / ОАО «Черметинформация» Бюллетень «Черная металлургия». – 2009. – № 6. – С. 50 – 53.

УДК 669.131.6.017

ВЛИЯНИЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ЛИНЕЙНОЕ РАСШИРЕНИЕ СЕРОГО ЧУГУНА СЧ 20

АФАНАСЬЕВ В.К., СЕМЕНОВ А.В., ДЖЕМЕЛА П.В., ЛЕЙМАНН Е.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Чугун – материал с многовековой историей, но, несмотря на это, до сих пор остается тайной сущность процессов формирования его свойств. По современным представлениям чугун является материалом с низкими свойствами*. Поэтому становится актуальным решение проблемы повышения свойств с помощью нетрадиционных методов термической и химико-термической обработок, которые могли бы значительно расширить область

* Афанасьев В.К., Кузнецова Е.В., Горлова С.Н. и др. Термическая обработка серого чугуна: Учеб. пособие / ГОУ ВПО «СибГИУ». – Новокузнецк, 2004. – 58 с.

применения чугуна.

В настоящей работе изучалось влияние химико-термической обработки на линейное расширение серого чугуна СЧ 20, химический состав которого приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав серого чугуна СЧ 20 (по ГОСТ 1412-85)

Массовая доля элементов, %				
Углерод	Кремний	Марганец	Фосфор	Сера
			не более	
3,3-3,5	1,4-2,4	0,7-1,0	0,2	0,15

Образцы для дилатометрического анализа подвергали химико-термической обработке, которая заключалась в нагреве в интервале температур от 100 до 300 °С, выдержке 10 ч (на воздухе и в мочеvine) и последующей закалке (1000 °С, $t = 3$ мин, вода). Коэффициент линейного расширения (КЛР) измеряли в интервале температур испытания 50 – 450 °С.

После нагрева образца при 100 °С на воздухе в течение 10 ч и последующей закалки существенно изменяется вид кривой КЛР (рисунок 1). При температуре испытания 50 – 250 °С значения КЛР ниже, чем у образца без обработки, аномальное значение КЛР, равное $1,7 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹, наблюдается при температуре испытания 150 °С. В интервале 200 – 350 °С происходит повышение КЛР, максимальное значение КЛР составляет $21,5 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ при температуре испытания 350 °С. В интервале 350 – 400 °С происходит падение КЛР до величины, равной $1,3 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹, что является самым минимальным значением КЛР.

Результаты, полученные после нагрева образца на 250 °С на воздухе в течение 10 часов и последующей закалки, также показывают аномальное поведение значений КЛР для серого чугуна (рисунок 2). В интервале 200 – 300 °С происходит повышение КЛР, максимальное значение КЛР составляет $19,6 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ при температуре испытания 300 °С. Данное значение намного выше, чем у образца без обработки и выше, чем после обработки в карбамиде. В интервале 350 – 450 °С происходит аномальное падение КЛР до величины равной $-3,1 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹, что является самым максимальным снижением значения КЛР для данного опыта.

КЛР после нагрева образца в мочеvine в течение 10 часов и последующей закалки с 1000 °С, выдержке 3 мин в воду имеет значения ниже КЛР образца без обработки во всем интервале температур испытания.

Таким образом, можно сделать вывод, что изучение воздействия термической и химико-термической обработки на свойства серого чугуна СЧ 20, а именно на его линейное расширение, необходимо продолжать. Поскольку в данной работе результаты показали перспективность дальнейших исследований в данном направлении, которые могут привести в ближайшем будущем к замене во многих областях промышленности дорогостоящих сплавов на всем известный серый чугун.

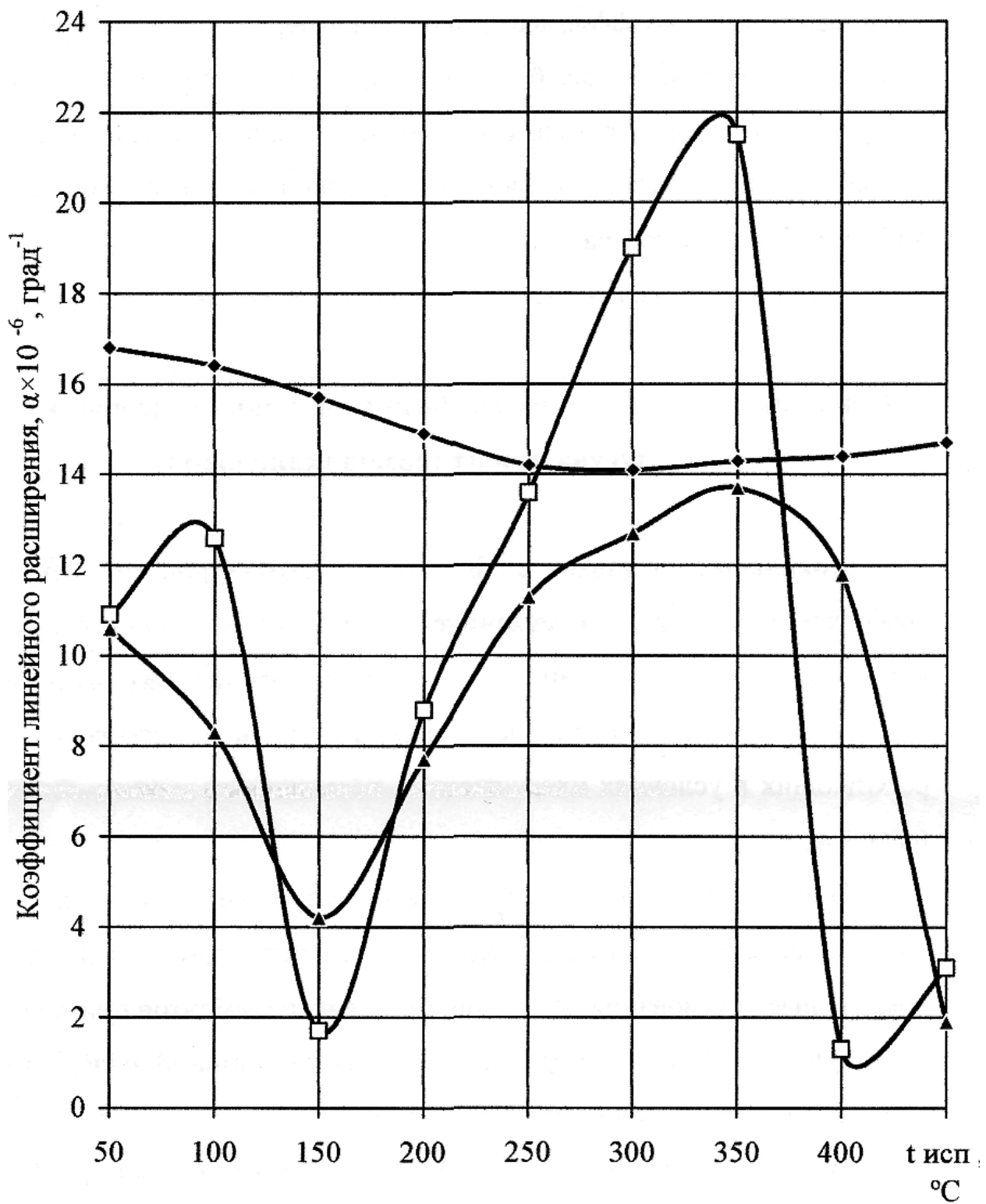


Рисунок 1 – Влияние нагрева на 100 °С, выдержки 10 ч. с последующей закалкой с 1000 °С 3 мин. в воду на линейное расширение чугуна СЧ 20:

—◆— без обработки; —□— воздух; —▲— мочеви́на.

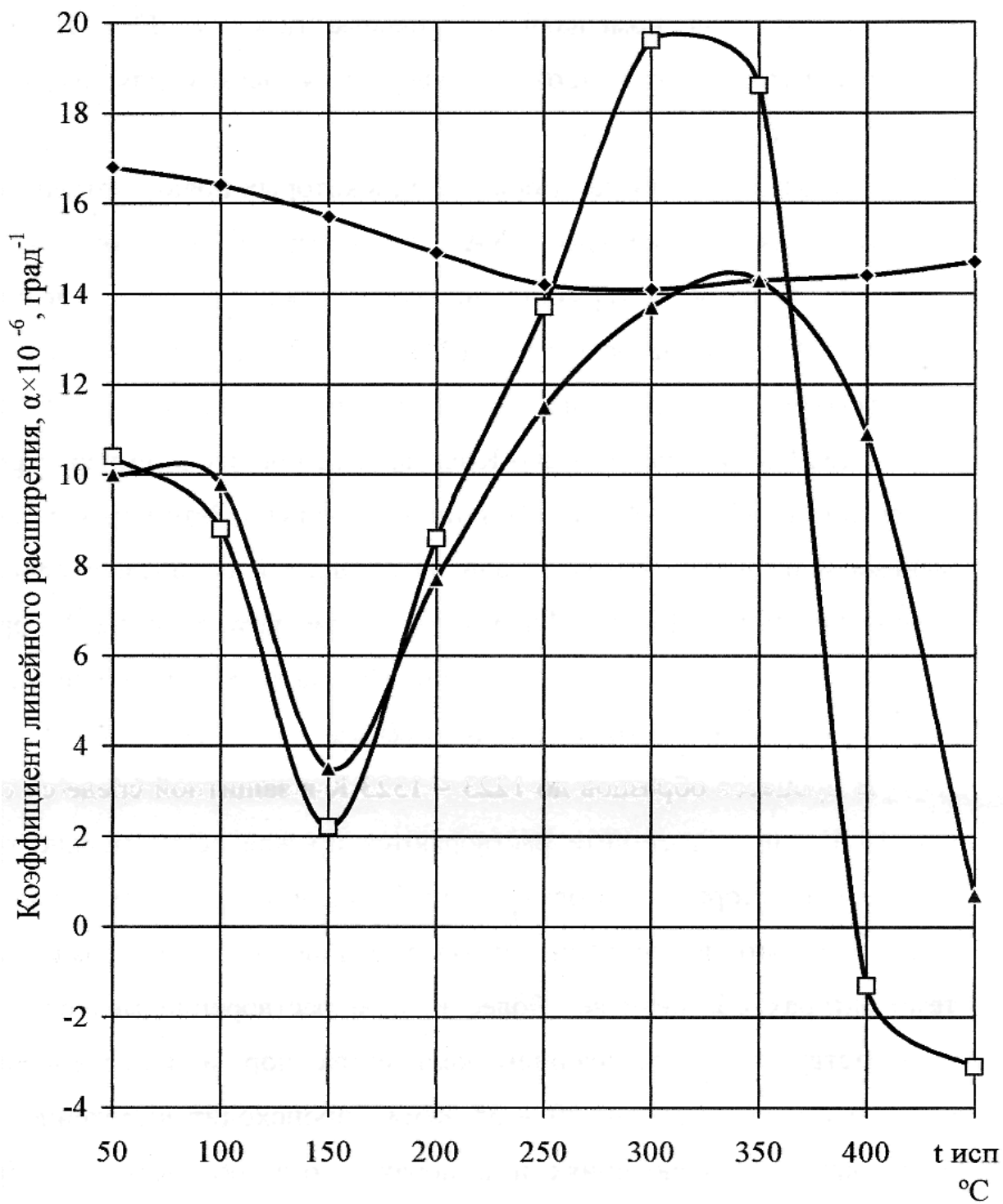


Рисунок 2 – Влияние нагрева на 250 °С, выдержки 10 ч. с последующей закалкой с 1000 °С 3 мин. в воду на линейное расширение чугуна СЧ 20:

—◆— без обработки; —□— воздух; —▲— мочеви́на.

ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОЙ ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ УПРОЧНЕНИЯ ТВЁРДОСПЛАВНОГО КАРБИДОВОЛЬФРАМОВОГО ИНСТРУМЕНТА*

Осколкова Т.Н., Будовских Е.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Карбидовольфрамодовые твёрдые сплавы, благодаря своим физико-механическим свойствам, продолжают оставаться одним из основных материалов при производстве различного инструмента, используемого в горнодобывающей отрасли. Износ твёрдосплавной вставки в период эксплуатации бурового и горнорезущего инструмента острыми кромками породы существенно зависит от абразивных свойств породы и твёрдости сплава. Таким образом, одной из причин образования дефектов, возникающих в рабочем слое вставки из твёрдого сплава, является абразивный износ поверхности, контактирующей с породой. В общей массе амортизированного инструмента износ и поломки твёрдосплавных элементов составляет 80 – 90 % [1].

Одним из основных резервов повышения эффективности буровых работ является увеличение показателей эксплуатационной стойкости бурового и горнорезущего инструмента. В настоящее время разрабатываются направления повышения долговечности этого инструмента, среди которых в большинстве случаев для уменьшения коэффициента трения, увеличения трещиностойкости на твёрдосплавных пластинах используют покрытия [2 – 3]. Стоимость пластин из твёрдого сплава с покрытием возрастает по сравнению с обычными на 15 – 20 %, в то время как стойкость инструмента повышается в 2 – 9 раз. В нашей стране, а также за рубежом в настоящее время ведутся исследования по созданию таких износостойких покрытий, в частности, в США около 35 % твёрдосплавного инструмента выпускается с покрытиями [1].

Большой резерв повышения долговечности твёрдосплавных изделий заключается в применении поверхностных методов упрочнения с использованием различных источников внешних высокоэнергетических воздействий. В настоящее время данные методы находят широкое применение для упрочнения различного инструмента, обеспечивая им повышение эксплуатационной стойкости в несколько раз [4 – 7]. Один из способов такой обработки – электровзрывное легирование (ЭВЛ) [8], который до сих пор не применялся для обработки твёрдых сплавов. Основная идея такой обработки состоит в

* Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России 2009 – 2013гг., государственный контракт П-332, а также при частичной финансовой поддержке грантом РФФИ № 07-08-92102-ГФЕН.

оплавлении поверхностных слоёв и насыщении их продуктами взрыва с последующей самозакалкой путём отвода тепла в глубь материала и в окружающую среду.

Целью настоящей работы было получение с помощью ЭВЛ на поверхности твёрдого сплава ВК10КС твёрдых и износостойких слоёв с высокой эксплуатационной стойкостью.

Работа плазменного ускорителя для ЭВЛ основана на накоплении батареей импульсных конденсаторов энергии до 20 кДж и её последующем разряде в течение 100 мкс через проводник, испытывающий при этом взрывное разрушение. Для реализации способа используется коаксиальная система токоподводящих электродов, которая позволяет сформировать из продуктов взрыва импульсную многофазную плазменную струю, служащую инструментом воздействия на поверхность. В качестве взрываемого проводника может быть использована тонкая фольга того или иного металла или сплава, углеграфитовые и другие волокна. Кроме того, в область взрыва может быть помещена порошковая навеска того или иного вещества, которая при формировании струи увлекается ею, частично превращается в плазменное состояние, а частично в конденсированном состоянии переносится на облучаемую поверхность. В настоящей работе обработку осуществляли электровзрывом алюминиевых фольг и углеграфитовых волокон. При двухкомпонентном легировании использовали порошки бора, ультрадисперсного порошка алмаза и карбида кремния. Режим обработки задавали совокупностью таких параметров, как зарядное напряжение ёмкостного накопителя энергии, диаметр сопла ускорителя, расстояние от его среза до облучаемой поверхности, диаметр внутреннего электрода. Площадь облучаемой поверхности составляла 10 – 15 см².

Исследование режимов легирования и испытаний обработанных образцов позволило выбрать оптимальный режим облучения по интенсивности теплового воздействия. Результаты испытаний облучённой поверхности показали, что оптимальным режимом по глубине упрочнённых слоёв достигается при интенсивности воздействия 6,0 ГВт/м², при которой сохраняется исходная шероховатость поверхности. Глубина упрочнённых слоёв достигает 30 – 40 мкм. При этом не образуется резкой границы между легированным слоем и материалом основы.

Повышение эксплуатационной стойкости бурового и горнорезущего инструмента, оснащённого твёрдым сплавом ВК10КС, при ЭВЛ происходит за счёт поверхностного легирования, уменьшения величины зёрен карбида вольфрама и смены типа монокарбида вольфрама WC в твёрдом сплаве на другой тип W₂C, который обладает большей твёрдостью и износостойкостью.

Таким образом, модификацию поверхности твёрдых сплавов с помощью ЭВЛ можно рассматривать как новый этап их совершенствования и использовать для упрочнения бурового и горнорезущего инструмента, а также штампов, прокатных валков, твёрдосплавных волокон, аппаратов высокого давления.

Библиографический список

1. Панов В.С., Чувилин А.М., Фальковский В.А. Технология и свойства спечённых твёрдых сплавов и изделий из них. – М.: МИСИС, 2004. – 464с.
2. Хижняк В.Г. Строение и некоторые свойства диффузионных покрытий титана, ванадия, хрома и бора на твёрдых сплавах / В.Г. Хижняк [и др.] // Научные вести национ. техн. ун-т Украины «Киевский политехнический институт». – Киев. – 2002. – № 1. – С. 74 – 79.
3. Андриюшин С.Г. Механические характеристики адгезионных соединений буферных тонкоплёночных покрытий с твёрдосплавными подложками / С.Г. Андриюшин, А.В. Касаткин, В.М. Кучумова, В.И. Савенко // Материаловедение. – 2003. – № 6. – С. 43 – 51.
4. Бобой А.О. Комплексная модификация твёрдосплавных режущих инструментов с использованием ионных пучков высокой удельной мощности / А.О. Бобой, К.Н. Полещенко, С.Н. Поворознюк, Ю.Ф. Иванов // Материалы и технологии 21-го века: сб. науч. тр. Ч.1. Пенза: Изд-во Приволж. Дом знаний. – 2001. – С. 87 – 89.
5. Ремнёв Г.Е. Исследование структуры твёрдого сплава на основе карбидов вольфрама и титана, подвергнутого мощному импульсному ионному облучению / Г.Е. Ремнёв [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 1998. – № 5. – С. 19 – 22.
6. Иванов А.Н. Структурные изменения в твёрдом сплаве ВК8 при ионном облучении / А.Н. Иванов, В.С. Хмелевская, И.А. Антошина, А.Б. Коршунов // Перспективные материалы. – 2003. – № 1. – С. 89 – 92.
7. Тарбоков В.А. Модифицирование твёрдосплавных пластин на основе карбида вольфрама мощным импульсным ионным пучком / В.А. Тарбоков, Г.Е. Ремнёв, П.В. Кузнецов // Физика и химия обработки материалов. – 2004. – № 3. – С. 11 – 17.
8. Багаутдинов А.Я. Физические основы электровзрывного легирования металлов и сплавов / А.Я. Багаутдинов, Е.А. Будовских, Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2007. – 301 с.

УДК 669.716: 669.018.26

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СУЛЬФИДОМ МЕДИ НА МИКРОСТРУКТУРУ СПЛАВА Al-11%Si

ПОПОВА М.В., КРИВИЧЕВА Н.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Модифицирование – обязательная технологическая операция для производства изделий из силуминов. Это обусловлено тем, что сплавы в значи-

тельной мере охрупчиваются из-за присутствия в структуре крупных выделений кремнистой фазы [1]. Модификаторы даже в малых концентрациях резко влияют на процесс кристаллизации, а, следовательно, и на характер формирования структуры. При модифицировании изменение структуры происходит не вследствие образования каких-либо новых структурных составляющих сплава, а в результате влияния модификаторов на их величину и форму. Таким образом, модифицирование является эффективным средством регулирования структуры [2].

Для обеспечения эффекта модифицирования необходимо тщательно подбирать температурно-временные условия обработки расплава и концентрацию модификатора. При недостаточном количестве модификатора или при сильном перегреве сплава и длительности его выдержки появляется «немодифицированная» структура. При введении несколько большего количества модификатора, чем требуется для получения тонкой равномерной структуры эвтектики, наблюдается образование «перемодифицированной» структуры [3].

Для алюминиево-кремниевых сплавов проводят модифицирование I, II и III рода. В основе каждого рода модифицирования лежат свои физико-химические процессы, однако в некоторых случаях для получения одних и тех же структурных изменений возможно использование различных способов модифицирования: введение модификаторов в виде лигатур, непрерывное модифицирование лигатурным прутком, введение модификаторов в виде солей и др.

Для доэвтектических силуминов проводят модифицирование эвтектики и дендритов твердого раствора. Необходимость модифицирования эвтектики заключается в том, что она является основной составляющей структуры сплава и, следовательно, строение эвтектики, форма ее структурных составляющих и соотношения между ними будут оказывать решающее воздействие на весь спектр свойств алюминиево-кремниевых сплавов. Поэтому для доэвтектических силуминов в качестве модификаторов применяют в основном поверхностно-активные вещества, такие как натрий, калий, сера их химические соединения, поскольку они хорошо модифицируют эвтектический кремний.

Также необходимо модифицировать дендриты твердого раствора. Внутреннее строение дендритов оказывает большое влияние на формирование структуры силуминов. В немодифицированном силумине дендриты имеют утолщенные оси с большими межосными пространствами. После модифицирования дендриты алюминия приобретают более тонкое строение. При измельчении внутреннего строения дендритов происходит перераспределение и изменение внутренних микропор, включений, вторичных выделений и примесей, скапливающихся не только по границам зерен, но и в межосных пространствах дендритов.

Модификаторами не только эвтектики, но и твердого раствора могут служить добавки титана, циркония, бора, натрия и др., вводимые в расплав в

виде лигатур и солей [4].

Настоящая работа посвящена изучению влияния модифицирования сульфидом меди на изменение параметров микроструктуры доэвтектического силумина Al-11%Si.

Расплав обрабатывали сульфидом меди в количестве 0,2 % (без выстаивания) и 1 % без выстаивания и с выстаиванием в течение 1 часа при температуре 900 °С. Затем производили заливку в холодный алюминиевый кокиль при температуре 850 и 720 °С соответственно.

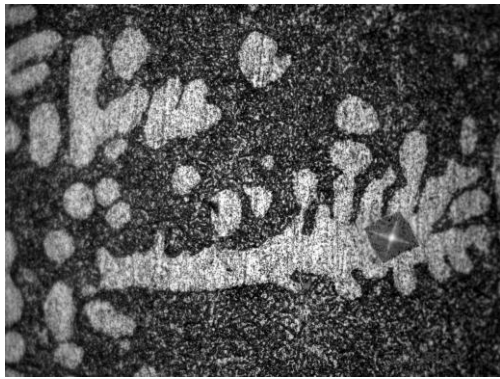
Металлографический анализ сплава Al-11%Si позволил установить, что после обработки расплава 0,2 и 1 % сульфида меди (без выстаивания) в его структуре кроме участков модифицированной эвтектики и дендритов твердого раствора наблюдается эвтектика игольчатого строения. На рисунке 1 показана микроструктура доэвтектического силумина до и после модифицирования по указанным режимам.

Установлено, что в результате обработки расплава 0,2 % сульфида меди структура сплава Al-11%Si представляет собой дендриты α -твердого раствора и неравномерно модифицированную алюминиево-кремниевую эвтектику (рисунок 1, в, г). Отдельные области эвтектики различаются по величине и форме частиц эвтектического кремния, которая изменяется от округлой до игольчатой.

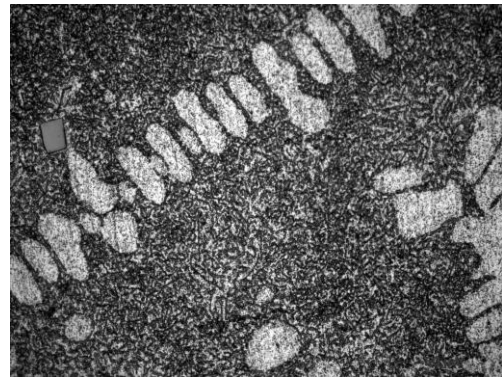
После повышения количества модификатора до 1 % в структуре доэвтектического силумина преобладает эвтектика игольчатого строения (рисунок 1, д). Кроме того, в отличие от сплава Al-11%Si, обработанного 0,2 % сульфида меди, дендриты α -твердого раствора в некоторых областях структуры имеют более округлую форму (сфероидизированы) и меньшие размеры (рисунок 1, е).

После выстаивания при температуре 900 °С в течение 1 часа расплава Al-11%Si, обработанного 1 % CuSO₄, структура силумина представляет собой дендриты α -твердого раствора и «перемодифицированную» эвтектику (рисунок 1, ж, з). Наблюдаются грубые выделения кремния игольчатой формы по границам зерен-колоний эвтектики. Дендриты α -твердого раствора имеют менее четкие границы, по сравнению со сплавом, модифицированным без выстаивания расплава. В данном случае произошло «перемодифицирование» структуры вследствие использования достаточно высокой температуры обработки расплава и длительного времени выстаивания.

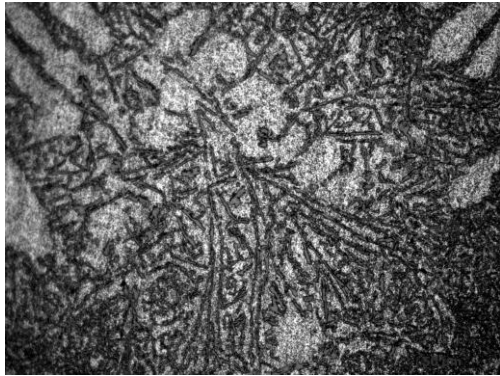
Таким образом, сульфид меди может быть использован в качестве модификатора доэвтектических силуминов при условии правильного выбора температурно-временных параметров обработки расплава.



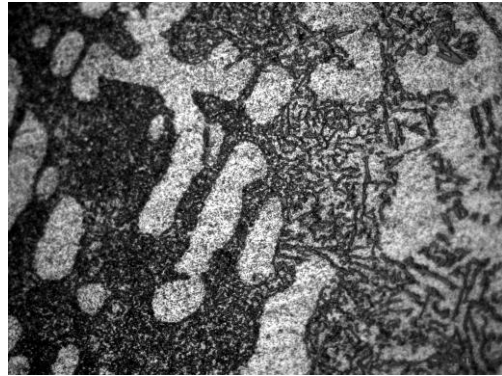
а



б



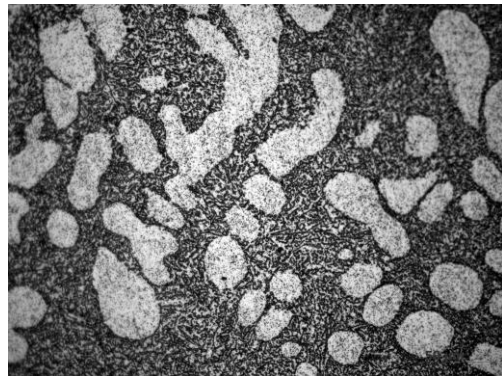
в



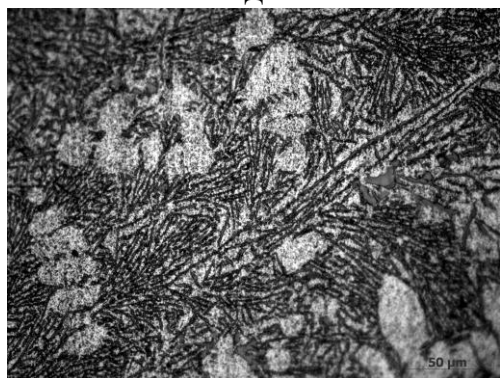
г



д



е



ж



з

а, б – исходный (без обработки); в, г – обработка 0,2 %CuSO₄;
д, е – обработка 1 %CuSO₄ (без выстаивания расплава); ж, з – обработка 1
%CuSO₄ (с выстаиванием расплава)

Рисунок 1 – Микроструктура сплава Al-11%Si ×500

Библиографический список

1. Афанасьев В.К. Поршневые силумины: учеб. пособие / В.К. Афанасьев. – Кемерово: Полиграф, 2005. – 162 с.
2. Плавка и литье алюминиевых сплавов / М.Б. Альтман, А.Д. Андреев, Г.А. Балахонцев и др. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.
3. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов / М.В. Мальцев. – М.: Металлургия, 1970. – 364 с.
4. Производство алюминиевых сплавов: учеб. пособие / Г.В. Галевский, В.Б. Деев, М.Я. Минцис, А.В. Феоктистов. – М.: Флинта: Наука, 2006. – 288 с.

УДК 621.74

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМОВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКИ И МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ЖИДКОТЕКУЧЕСТЬ СПЛАВА АК7Ч

**ДЕЕВ В.Б., СЕЛЯНИН И.Ф., ЦЕЦОРИНА С.А.,
АРХИПОВА Е.С., СЛОБОДЧИКОВ А.В.**

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

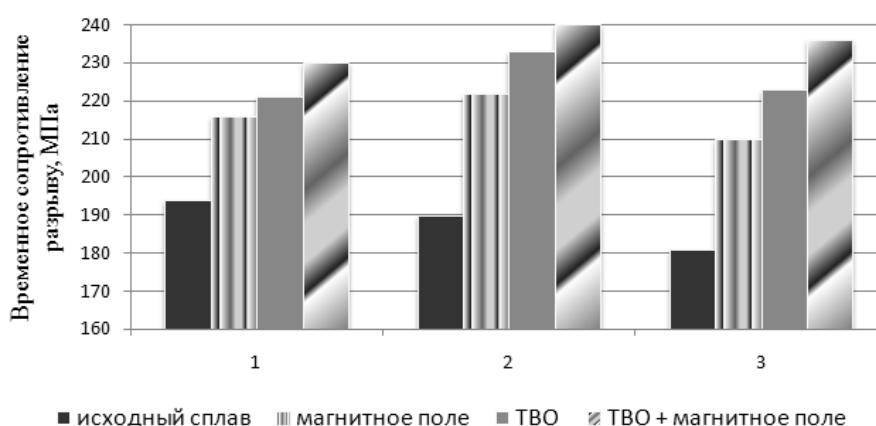
В настоящее время в промышленных технологиях литья алюминиевых сплавов уделяется внимание разработке и исследованию способов внешних воздействий на расплавы (таких как ультразвук, вибрация, термовременная обработка, электрический ток, магнитное поле и др.). Данные воздействия способствуют получению мелкозернистой структуры и повышенных механических и эксплуатационных свойств сплавов и отливок без введения специальных модифицирующих добавок [1, 2, 3]. Основное достоинство внешних воздействий заключается в том, что они не меняют химический состав расплава и не приводят к накоплению нежелательных примесей в литейных сплавах при дальнейших переплавах.

Особенный интерес в технологиях изготовления алюминиевых сплавов представляет обработка расплава магнитным полем в процессе плавки и литья. Однако применение способов обработки расплавов магнитным полем при производстве фасонных отливок сдерживается. Это связано со сложностью создания специальных устройств, позволяющих обрабатывать расплавы непосредственно в литейной форме с учетом конфигурации отливки, и недостаточной изученностью процессов, происходящих при кристаллизации расплавов, подвергнутых обработке магнитным полем. Перспективу представляет разработка и исследование эффективных технологий обработки расплавов магнитным полем при заливке в литейную форму, что дает возможность получать отливки любой конфигурации и не ограничивать матери-

ал формы.

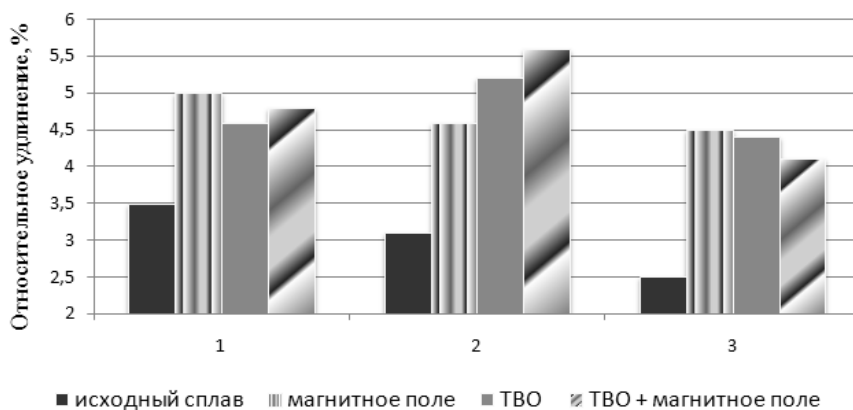
При повышенном содержании вторичного сырья (лома, отходов) в шихте целесообразным является использование термовременной обработки (ТВО) в жидком состоянии, снижающей микронеоднородное состояние расплава, которая в последние годы находит все большее применение при плавке литейных алюминиевых сплавов. Данную обработку можно совмещать с другими внешними воздействиями, что позволит экономить чушковые материалы и получать сплавы требуемого качества.

Объектом исследований был выбран промышленный алюминиевый сплав АК7ч (ГОСТ 1583-93). Шихта варьировалась по химическому составу и состояла из чушкового сплава и вторичного сырья (лом, отходы механических цехов). В качестве внешних воздействий применялась обработка расплава магнитным полем при заливке, ТВО, а также комплексная обработка, включающая ТВО в процессе плавки и обработку магнитным полем при заливке. Плавки проводили в печи сопротивления. Заливку проб и образцов для изучения механических свойств и жидкотекучести осуществляли при температуре $740 - 750^{\circ}\text{C}$. Параметры ТВО составляли: температура нагрева расплава $T = 970 - 1000^{\circ}\text{C}$, время изотермической выдержки $\tau = 7 - 10$ мин (100 % чушкового сплава в шихте); $T = 1000 - 1030^{\circ}\text{C}$, $\tau = 10 - 12$ мин (50 – 100 % вторичного сырья в шихте). Обработку расплавов переменным магнитным полем в процессе заливки осуществляли с помощью специального устройства, сконструированного на кафедре литейного производства ГОУ ВПО «СибГИУ» [4]. Параметры обработки расплавов магнитным полем составляли: индукция магнитного поля $B = 0,4 - 0,5$ Тл и угол наклона устройства $\alpha = 30 - 35^{\circ}$. На рисунках 1, 2, 3 показано влияние технологии обработки расплава на механические свойства и жидкотекучесть сплава АК7ч в зависимости от используемой шихты.



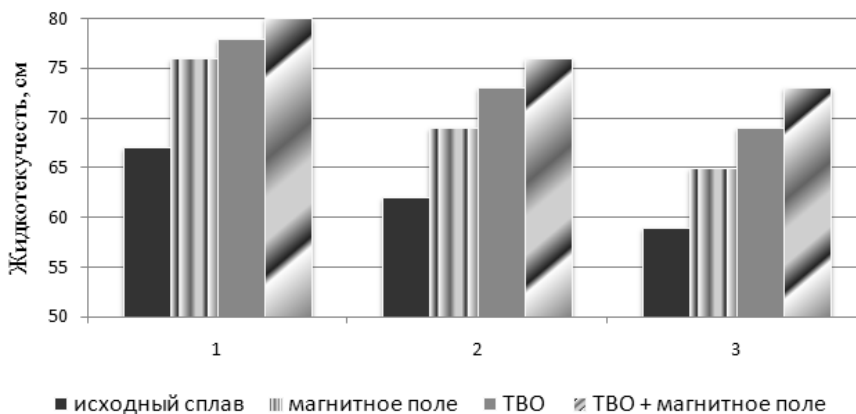
1 – 100 % чушкового сплава; 2 – 50 % чушкового сплава + 50 % вторичного сырья; 3 – 100 % вторичного сырья

Рисунок 1 – Временное сопротивление разрыву сплава АК7ч (средние значения)



1 – 100 % чушкового сплава; 2 – 50 % чушкового сплава + 50 % вторичного сырья; 3 – 100 % вторичного сырья

Рисунок 2 – Относительно удлинение сплава АК7ч (средние значения)



1 – 100 % чушкового сплава; 2 – 50 % чушкового сплава + 50 % вторичного сырья; 3 – 100 % вторичного сырья

Рисунок 3 – Жидкотекучесть сплава АК7ч (средние значения)

Результаты показывают, что уровень механических свойств и жидкотекучести сплава, обработанного внешними воздействиями, повышается по сравнению с уровнем свойств необработанного сплава. Механизм влияния магнитного поля при заливке в литейную форму на формирование структуры алюминиевых сплавов рассмотрен в работе [5]. При обработке струи расплава магнитным полем влияние электромагнитных сил способствует уменьшению скорости движения газовых и неметаллических включений в потоке расплава, проходящего через устройство [4], так как они, являясь по физической сути диамагнетиками, подвергаются «торможению» магнитным полем и после заливки в литейную форму накапливаются в литниковой чаше формы. В результате газосодержание в сплаве и его пористость уменьшаются.

ся, что приводит к повышенному уровню механических свойств. Кроме того, можно предположить, что в процессе кристаллизации расплава после обработки внешними воздействиями (магнитным полем, ТВО, ТВО и магнитным полем) происходит образование виртуальных связей между атомами его компонентов. При этом увеличивается полное время движения атома при перескоке из одного положения в соседнее. Следовательно, снижается скорость и коэффициент разделительной диффузии атомов компонентов расплава, что приводит к замедлению процесса кристаллизации, увеличению переохлаждения и измельчению составляющих микроструктуры обработанных внешними воздействиями сплавов.

Наиболее выраженный эффект от применения внешних воздействий наблюдается при использовании в шихте повышенного количества вторичного сырья. При использовании комплексной обработки предварительная ТВО способствует получению более однородного состояния расплава и увеличению уровня свойств.

Обработка расплавов внешними воздействиями открывает широкие возможности для разработки перспективных ресурсосберегающих технологий получения литейных алюминиевых сплавов. Использование повышенного количества вторичного сырья в шихте позволяет экономить чушковые материалы и получать сплавы с мелкозернистой структурой и требуемыми механическими и технологическими свойствами.

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. Крушенко Г.Г. Доэвтектические сплавы системы Al – Si, приготовленные из шихты, обработанной физическими методами / Г.Г. Крушенко // Литейное производство. – 1983. – № 8. – С. 10, 11.
3. Найдек В.Л. Влияние способа обработки расплава на структуру и свойства алюминиевых сплавов / В.Л. Найдек, А.В. Наривский // Литейное производство. – 2003. – № 9. – С. 2, 3.
4. Модифицирующая обработка сплавов магнитным полем / В.Б. Деев, И.Ф. Селянин, О.И. Нохрина, В.Ф. Горюшкин, С.А. Цецорина // Литейщик России. – 2008. – № 3. – С. 23 – 25.
5. Цецорина С.А. Исследование влияния магнитного поля на свойства литейных алюминиевых сплавов и разработка ресурсосберегающей технологии их получения: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Новокузнецк: ГОУ ВПО «СибГИУ», 2008. – 20 с.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

СЕЛЯНИН И.Ф., ПРОХОРЕНКО А.В., ФИЛИНБЕРГ И.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Коксовые вагранки в настоящее время продолжают оставаться одними из широко используемых агрегатов для плавки чугуна в литейных цехах. Относится коксовая вагранка к плавильным печам шахтного типа непрерывного действия и работает по принципу противотока. Снизу вверх поднимается поток горячих газов, образующихся в результате горения кокса, навстречу ему опускается поток шихты. В результате теплообмена между этими потоками металлическая шихта прогревается, плавится, и получившийся жидкий металл перегревается выше температуры ликвидуса. Таким образом, металл, загруженный в вагранку, опускаясь в шахте, последовательно проходит через зоны подогрева, плавления, перегрева и стекает в горн или копильник. Для вагранок определяющее значение имеет используемое кусковое твердое топливо, так как оно должно давать не только тепло при своем сжигании, но и поддерживать столб шихты в шахте вагранки.

Следует отметить нежелательную особенность процесса горения кокса в вагранке – неизбежность протекания реакции редукиции, которая приводит к снижению температуры газов. Это, в свою очередь, снижает возможности перегрева чугуна и производительность печи. Поэтому для плавки в вагранке следует использовать кокс с минимальной реакционной способностью, то есть способностью восстанавливать CO и CO₂. Для этого пористость кокса должна быть минимальной, не более 30 – 40 %.

Производительность вагранки и температура на желобе в большей степени зависят также и от размеров кусков кокса. Исходя из этого, технология плавки и характеристики топлива должны обеспечивать получение требуемого и стабильного состава чугуна и высокой температуры металла при заданной производительности. Выполняются эти требования за счет выбора соответствующего расхода кокса и дутья. Сложность управления процессом заключается в том, что изменение расходов кокса или воздуха изменяет одновременно как температуру металла, так и производительность вагранки. Поэтому для изменения только производительности или только температуры металла, как правило, необходимо изменять и расход кокса, и расход дутья.

Оптимальный режим работы вагранок – получение чугуна в интервале температур 1340 – 1400 °С при холодном дутье и 1400 – 1450 °С при подогретом дутье.

Современные методы интенсификации ваграночного процесса направлены либо на повышение температурного режима в вагранке, либо на пере-

грев жидкого металла на желобе, в горне или копильнике. Как было отмечено выше, в значительной степени это определяется используемым топливом – коксом. Поэтому исследование изменений параметров топлива в результате процесса горения с целью дальнейшей интенсификации ваграночного процесса является актуальной задачей, особенно в сложившихся социально-экономических условиях последних лет.

В данное время устройств, позволяющих в полной мере изучать кинетику горения топлива и различные технологические параметры ваграночного процесса – не существует. Однако нерационально используемые параметры кокса (фракция, зольность и др.) могут оказать негативное влияние на течение процесса, следствием чего может являться недостаточная температура в шахте печи (ведущая к образованию настывлей и «закозления» в области фурм), происходит увеличение продолжительности времени плавки и т.д.

На кафедре литейного производства ГОУ ВПО «СибГИУ» разработана конструкция устройства, позволяющего исследовать характеристики твердого топлива различных видов (причем как однокомпонентного, так и смешанного). Схема устройства представлена на рисунке 1. Устройство состоит из шахты 1, воронки 2, стола 3, короба 4, системы ротаметров 5, воздуходувки 6, соединительных рукавов 7. В шахте 1 просверлены отверстия 8.

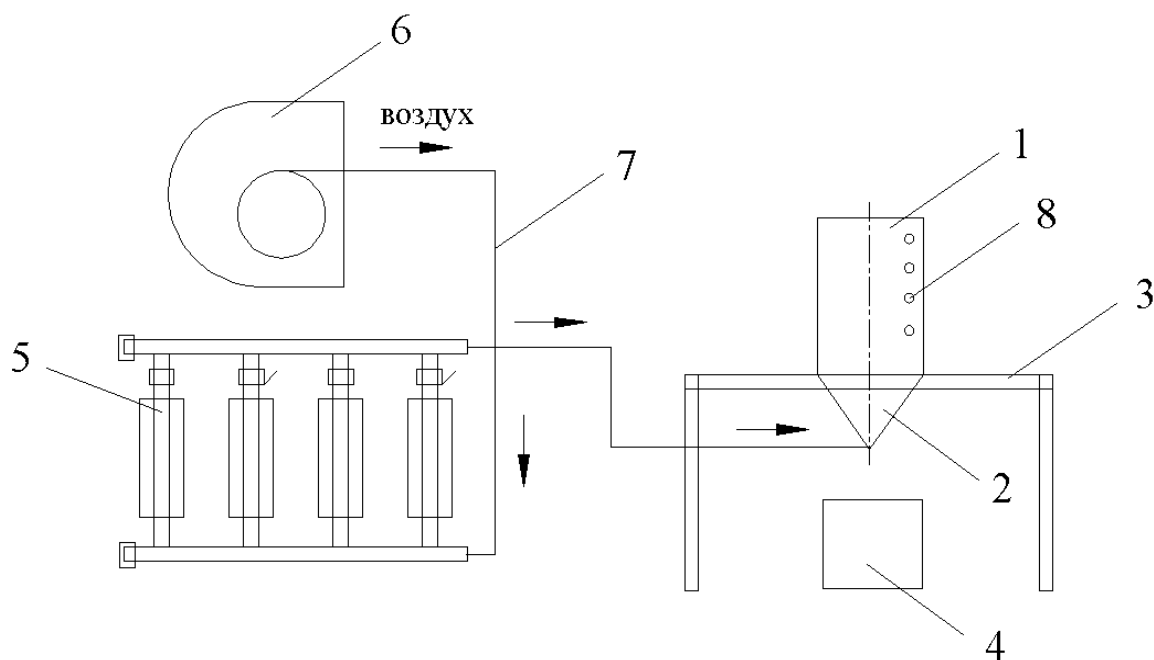


Рисунок 1 – Устройство для контроля качества топлива в шахтных печах

Работает устройство следующим образом. В шахту 1 загружается изучаемое топливо, производится розжиг. Затем через соединительные рукава 7 в систему ротаметров 5 и затем в воронку 2 с помощью воздуходувки 6 подается воздух. По мере протекания процесса горения меняется геометрия

фракций, температура и газосодержание в слоях топлива. Через отверстия 8 можно производить измерение изменений температуры и газов относительно слоев топлива и времени течения процесса. Температура и состав газов определяется с помощью газоанализатора Varioindustrial Plus. Установка предусматривает подачу горячего и холодного воздуха.

Изучение различных видов топлив на данной установке позволит изучить кинетику процесса горения с целью выявления рекомендаций по их эффективному применению в шахтных печах (в частности, в ваграночной плавке).

УДК 669.14.018.294.2-194.591

ПРОИЗВОДСТВО СУПЕРПЕРЛИТНЫХ РЕЛЬСОВ

**МОХОВ Г.В., АЛЕКСАНДРОВ И.В., КОЗЫРЕВ Н.А.,
КОРНЕВА Л.В., АТКОНОВА О.П.**

***ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат»
г. Новокузнецк***

Актуальную задачу повышения эксплуатационной стойкости рельсов в настоящее время решают, комплексными методами, включая оптимизацию структурного состояния рельсовой стали.

При исследовании рельсов с разным содержанием углерода отмечено, что при содержании углерода ближе к эвтектоидному в рельсах при объемной закалке образуется однородная структура перлита без зернограничного выделения феррита. Из аналогичной «суперперлитной» стали типа СР изготавливает рельсы японская компания НКК*.

Для получения рельсов с «суперперлитной» структурой на ОАО «НКМК» выплавляли 11 плавов с регламентированным химическим составом (таблица 1). В опытных рельсах содержание углерода находилось в пределах 0,77 – 0,78 %, марганца – 0,87 – 0,92 %, кремния – 0,30 – 0,33 %. Содержание водорода в опытном металле составило 0,8 – 1,7 ppm.

Сталь выплавляли в 100-т дуговой электропечи ДСП-100И7 с использованием жидкого чугуна по технологии «на болоте». Выпуск металла осуществляли с полной отсечкой печного шлака. Для повышения степени десульфурации и необходимого рафинирования от неметаллических включений в ковш дополнительно присаживали твердую шлакообразующую смесь, состоящую из извести и плавикового шпата, а также необходимые кремний-, марганецсодержащие сплавы. Сталь обрабатывалась на вакууматоре VD. Разливку проводили на четырехручьевых радиальных МНЛЗ с сечением кристаллизаторов 300×340 мм. Нагрев и прокатку непрерывнолитых заготовок на рельсы Р65 осуществляли по действующей на комбинате технологии.

* Козлов А.В. Рельсовая сталь. Ч.1 // Производство проката. – 2005. – № 8. – С. 41 – 46.

Рельсы подвергали объемной закалке в масле и отпуску. Закалку проводили с более низкой температуры (800 – 820 °С), чем это предусмотрено для рельсов серийного производства. Снижение температуры закалки позволило снизить коробление рельсов в процессе закалки. Отпуск проводили по обычному режиму.

Таблица 1 – Химический состав опытных рельсов

№ п/п	Массовая доля химических элементов, %										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	V	H (ppm)
1	0,78	0,87	0,33	0,016	0,009	0,08	0,07	0,14	0,004	0,07	1,3
2	0,78	0,9	0,31	0,013	0,006	0,11	0,07	0,15	0,003	0,07	1,7
3	0,77	0,87	0,32	0,017	0,011	0,08	0,06	0,11	0,003	0,07	1,5
4	0,78	0,9	0,3	0,013	0,007	0,1	0,07	0,15	0,004	0,06	1,1
5	0,78	0,86	0,3	0,016	0,006	0,08	0,07	0,13	0,004	0,07	0,8
6	0,77	0,92	0,33	0,016	0,016	0,09	0,08	0,15	0,003	0,07	1,4
7	0,78	0,88	0,35	0,017	0,013	0,08	0,08	0,15	0,004	0,07	1,1
8	0,77	0,87	0,31	0,018	0,011	0,07	0,05	0,1	0,004	0,07	0,9
9	0,78	0,87	0,32	0,01	0,011	0,08	0,1	0,13	0,003	0,07	1
10	0,78	0,9	0,3	0,016	0,012	0,08	0,07	0,11	0,004	0,07	1,2
11	0,77	0,9	0,31	0,016	0,015	0,07	0,06	0,1	0,003	0,07	1

Опытные рельсы удовлетворяли требованиям ГОСТ Р 51685 по копро-вой прочности, макроструктуре, неметаллическим включениям и механическим свойствам при испытании на растяжение и ударный изгиб при минус 60 °С (таблица 2). Результаты испытаний показали достаточно высокую твердость, которая на поверхности катания головки составила 380-388 НВ. Временное сопротивление разрыву достигнуто в пределах 1290 – 1310 Н/мм². Значения указанных характеристик заметно превышают уровень стандартных рельсов.

Исследование качества опытных рельсов показало наличие плотной удовлетворительной макроструктуры металла. Применение технологии вакуумирования привело не только снижению водорода, но и повышению чистоты стали по неметаллическим включениям. В металле опытных плавок длина строчечных хрупкоразрушенных неметаллических включений не превышала 0,10 мм. Применение технологии микролегирования ванадием, вводимого совместно с азотом обеспечило измельчение действительного зерна микроструктуры после термической обработки до номера 10-11 по шкале ГОСТ 5639.

Оптимизированный химический состав стали позволил получить на опытных рельсах однородную перлитную структуру без выделения избыточного феррита по границам зерен (рисунок 1), за счет которой рельсы по-

казали преимущество по механическим свойствам и твердости по сравнению в рельсами серийного производства.

Таблица 2 – Механические свойства и твердость опытных рельсов

№ п/п	Твердость рельса, НВ					σ _T	σ _B	δ ₅	ψ	КСУ при °С-60
	головка			шейка	подошва					
	ПКГ	НВ ₁₀	НВ ₂₂							
1	383	383	354	363	373 373	940	1300	13	39	25 26
2	383	380	352	359	380 385	950	1290	12,5	40	30 31
3	388	388	363	363	383 385	950	1300	13,5	41	32 25
4	388	378	359	363	363 383	950	1310	14	41	52 29
5	388	388	375	385	385 388	950	1300	13,5	39	32 30
6	388	380	370	375	375 375	950	1290	13,0	40	36 33
7	383	375	363	345	363 375	940	1290	12,5	39	41 41
8	388	375	345	368	370 366	940	1300	13,5	40	36 33
9	380	375	363	363	385 388	940	1310	14	40	41 41
10	380	370	363	356	368 353	920	1290	12	38	31 30
11	388	378	359	370	385 375	940	1310	14	40	38 29

Важным показателем надежности рельсов против хрупких разрушений являются удовлетворительные результаты копровых испытаний и низкий уровень остаточных напряжений. Термически упрочненные рельсы с оптимизированным химическим составом показали удовлетворительный уровень остаточных напряжений, достигнутый благодаря снижению температуры их закалки. Расхождение паза на контрольной пробе не превысило 1,7 мм.

Проведенная работа показала, что при обеспечении содержания углерода в стали ближе к эвтектоидному, обеспечивается благоприятная перлитная структура с устойчивым сбалансированным комплексом механических свойств, который позволит повысить надежность и эксплуатационную стойкость рельсов.

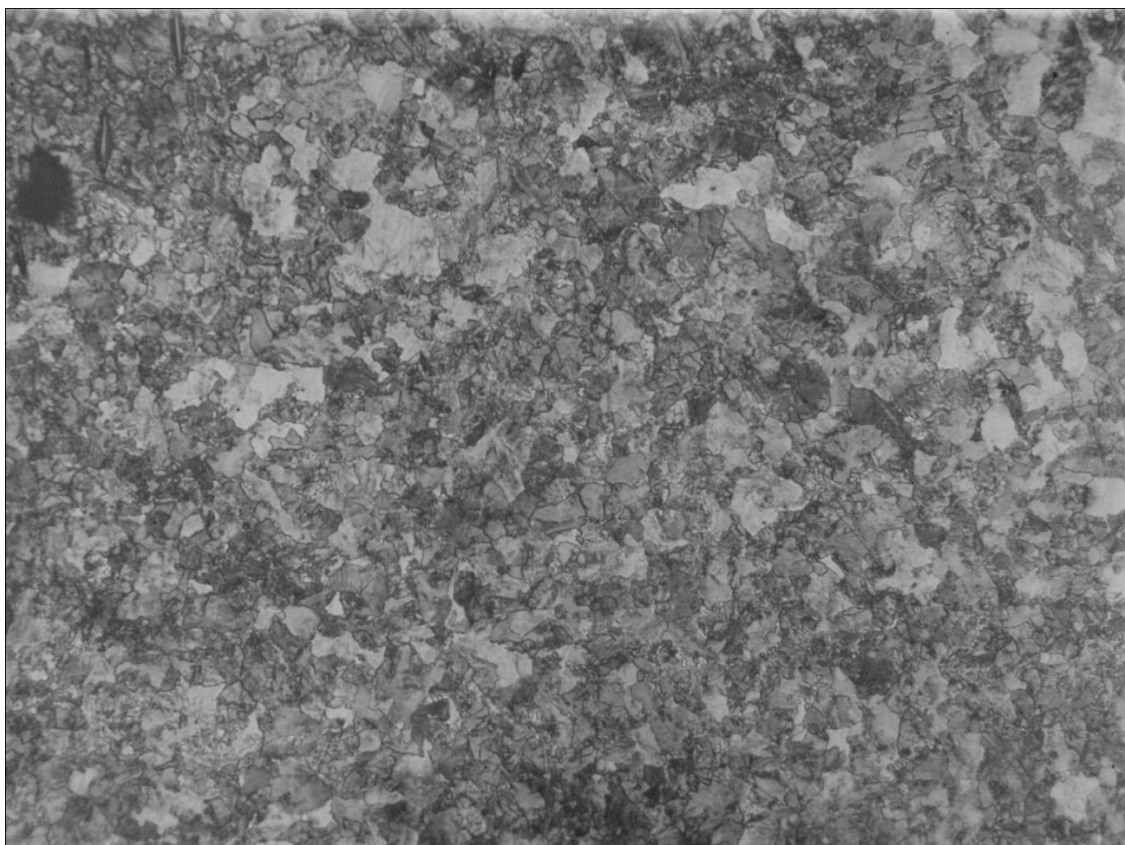


Рисунок 1 – Микроструктура объемнозакаленных рельсов (сорбит закалки без выделений зернограничного феррита), $\times 400$

УДК: 621.771.65+621.785.6

ПРОИЗВОДСТВО МЕЛЮЩИХ ШАРОВ ОСОБО ВЫСОКОЙ ТВЕРДОСТИ

**МОХОВ Г.В., КОЗЫРЕВ Н.А., КУЗНЕЦОВ Е.П.,
АТКОНОВА О.П., ЗАКАУЛОВ Е.Г.**

***ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат»
г. Новокузнецк***

В связи возросшей потребностью цементных и золотодобывающих предприятий на мелющие шары особо высокой твердости 4 группы ГОСТ 7524 [1 – 3], на ОАО «НКМК» освоено производство из новой стали, имеющей повышенную прокаливаемость по сравнению со сталью Ш2, используемой на предприятии для производства мелющих шаров 3 группы, за счёт дополнительного микролегирования алюминием, бором, титаном, хром, никелем и азотом (таблица 1). На химический состав стали получено положительное решение [4].

Таблица 1 – Химический состав стали марок Ш2 и новой марки

Марка стали	Массовая доля элементов, %										
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	B
Ш2	0,60-0,80	0,60-0,80	0,15-0,35	не более		не более			-	-	-
				0,040	0,040	0,30	0,30	0,30			
Новая марка	0,65-0,75	0,70-0,80	0,20-0,35	не более		0,40-0,50	не более		0,015-0,020	0,005-0,010	0,001-0,003
				0,035	0,035		0,30	0,30			

Прокаливаемость стали марок Ш2 и новой марки, определенная методом торцевой закалки по ГОСТ 5657, представлена на рисунке 1.

Сталь повышенной прокаливаемости марки разработана на предприятии целенаправленно для производства мелющих шаров особо высокой твёрдости 4 группы, так как согласно требованиям ГОСТ 7524 у шаров этой группы кроме твёрдости на поверхности, которая, как и у шаров 3 группы, должна составлять не менее 55HRC (534HB), регламентируется твёрдость на глубине 1/2 радиуса шара – не менее 45HRC (415HB).

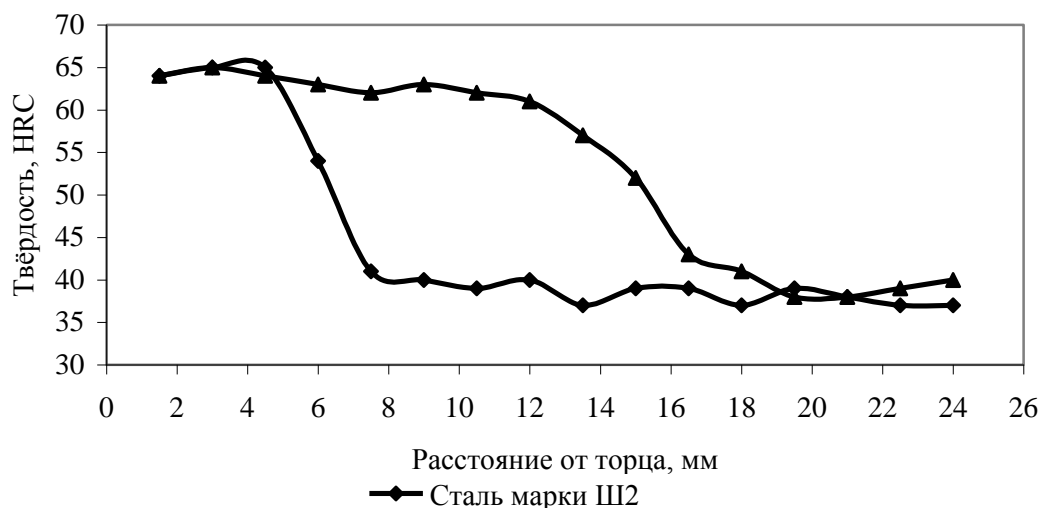


Рисунок 1 – Прокаливаемость стали марок Ш2 и новой марки

Освоение технологии проводили по следующей технологической схеме. Выплавка стали проводилась в условиях электросталеплавильного цеха в двух 100-тонных дуговых электропечах: ДСП 100И7 (сифонный выпуск, трансформатор 80 МВА, сводовая и дверьевая кислородные фурмы) и ДСП-100Н10 (эркерный выпуск, трансформатор 95 МВА, кислородная система фирмы BSE). В качестве металлошихты использовали металлолом (70 – 80 т на плавку) и жидкий чугун (30 – 35 т на плавку). В завалку и по ходу плавки присаживаются шлакообразующие материалы, в том числе известь в количестве до 7 т.

Полупродукт выпускали из печи с отсечкой печного шлака и присадкой в ковш твердой шлакообразующей смеси (700 кг извести и 150 кг плавикового шпата) и силикомарганца, количество которого определяли из расчета получения содержания марганца на нижнем марочном пределе.

Внепечная обработка металла производилась на агрегате «ковш-печь» (АКП) с продувкой металла аргонном в стальной ковше через донные фурмы. По ходу внепечной обработки производилось раскисление шлака периодическими присадками порошков кокса и ферросилиция, отбор проб и корректировка химического состава металла (в том числе по содержанию углерода), нагрев его до температуры разлива на МНЛЗ.

Последующую прокатку и термообработку мелющих шаров диаметром 40 и 60 мм из стали новой марки производили по действующей на комбинате технологии.

С целью получения высокой и равномерной твердости на поверхности и на глубине $1/2$ радиуса, шары с температуры окончания деформации подвергли двухстадийной закалке, включающей поштучное интенсивное охлаждение в потоке воды в трубе на первой стадии и окончательное охлаждение на полках конвейера в закалочном баке с проточной водой на второй стадии. Продолжительность двухстадийного охлаждения шаров диаметром 40 и 60 мм составила соответственно 36 и 45 с, температура самоотпуска 200°C .

Для сравнения небольшую партию шаров диаметром 40 мм, изготовленных из этой стали, после прокатки подвергли закалке в закалочном баке с проточной водой на полках конвейера. Продолжительность охлаждения шаров при этом составила 29 с, температура самоотпуска 220°C .

Температура нагрева заготовок перед прокаткой составила $970 - 980^{\circ}\text{C}$, а температура воды в закалочном баке – $35,5^{\circ}\text{C}$. Время самоотпуска мелющих шаров в бункерах после закалки составило 12 ч.

Замер твердости на поверхности и глубине $1/2$ радиуса шаров после закалки и самоотпуска производили в соответствии с требованиями ГОСТ 7524 на двух диаметрально противоположных площадках, заточенных на наждаке. Твердость на глубине $1/2$ радиуса измеряли методом Роквелла на шарах подготовленных в соответствии с требованиями ГОСТ 9013-59. Результаты замера твердости шаров на поверхности и глубине $1/2$ радиуса шара приведены в таблице 2.

Твердость на поверхности и глубине $1/2$ радиуса шаров диаметром 40 и 60 мм партий, прошедших двухстадийную закалку и закалку в закалочном баке на полках конвейера, удовлетворяет требованиям ГОСТ 7524-89 для 4 группы. При этом следует отметить, что твердость на поверхности шаров диаметром 40 мм, прошедших закалку в закалочном баке на полках конвейера, несколько ниже чем у шаров, прошедших двухстадийную закалку, а твердость на глубине $1/2$ радиуса шара практически одинаковая.

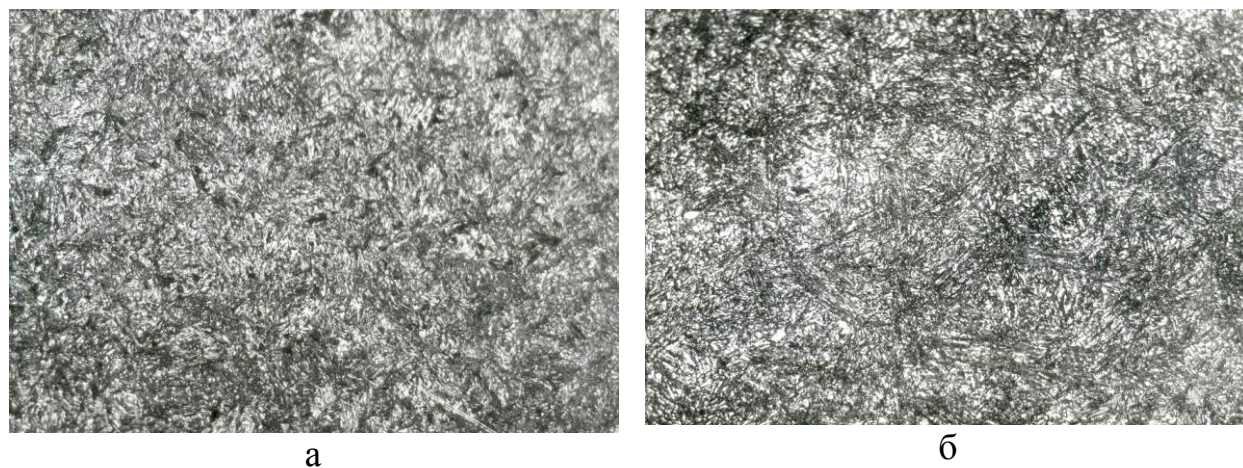
При металлографическом исследовании у шаров исследуемых партий по всему сечению выявлена мартенситная структура, свидетельствующая о сквозной прокаливаемости их при закалке (рисунок 2). Таким образом, раз-

работанная на ОАО «НКМК» сталь повышенной прокаливаемости за счёт микролегирования алюминием, бором, титаном, хром, никелем и азотом гарантирует получение мелющих шаров особо высокой твёрдости 4 группы ГОСТ 7524 по действующей технологии.

Таблица 2 – Твёрдость на поверхности и глубине 1/2 радиуса шаров диаметром 40 и 60 мм после термообработки

Диаметр шара	Твёрдость, НВ (HRC ₃) _{ср} на поверхности	Твёрдость, НВ (HRC ₃) _с на расстоянии от поверхности 1/2 радиуса шара
40Т	622(62)	51,5-55,0
40	599(60,5)	49,0-55,0
60Т	600(61,0)	50,0-55,0
Требования ГОСТ 7524 для шаров 4 группы	не менее	
	534(55,0)	415(45,0)

Примечание. Литерой «Т» замаркированы шары, прошедшие двухстадийную закалку.



а

б

а – с поверхности; б – в центре

Рисунок 2 – Микроструктура (×400) шаров из стали новой марки

Библиографический список

1. Вавилкин Н.М., Челноков В.В. // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2002. – № 1. – С. 41 – 45.
2. Вавилкин Н.М., Челноков В.В. // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2003. – № 3. – С. 82 – 83.
3. Петренко Ю.П., Касаткин В.В., Мюнх В.Ф. и др. // Сталь. – 2005. – № 8. – С. 82 – 83.
4. Заявка № 2006138549/02(042000), МПК⁷ С22С 38/54, С22С38/32 Сталь для мелющих шаров / ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат». Заявл. 31.10.2006.

РОЛЬ ВОДОРОДА В ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ АРМАТУРЫ

**ЕФИМОВ О.Ю., ЧИНОКАЛОВ В.Я., СИДОРОВА О.Д.,
ГРОМОВ В.Е., КОНОВАЛОВ С.В.**

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

Нестабильность механических свойств арматуры в значительной степени определяется концентрацией и распределением технологических примесей в стали, и прежде всего водорода [1]. Для борьбы с водородной хрупкостью на стадии прокатного передела используется пассивная форма, заключающаяся в вылеживании заготовки [2]. Вопрос водородного охрупчивания до конца не решен и требует исследования связей между структурно-фазовым состоянием, газосодержанием и механическими свойствами стали [3].

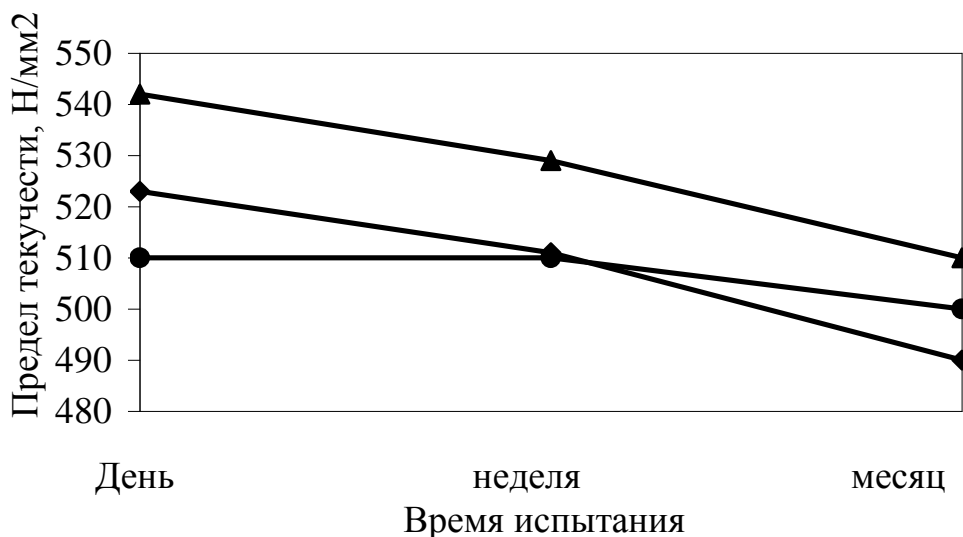
В настоящей работе исследовалось влияние газосодержания на механические свойства арматурного проката диаметром 40 мм из стали марки 18Г2С.

После отбора трех заготовок в середине цикла разливки проводилась их прокатка на арматуру без вылеживания (1-я партия) и после вылеживания в течение пяти (2-я партия) и тридцати (3-я партия) дней. После прокатки опытных заготовок на арматуру с термическим упрочнением раскатов на класс А500С по ТУ14-1-5254-94 в линии стана 450 проводились механические испытания опытных партий арматуры после вылеживания в течение одного, пяти и тридцати дней

Установлено (рисунок 1), что предел текучести образцов 1-й и 2-й партий с течением времени снизился на 30 Н/мм^2 , а 3-й партии практически не изменился. При испытаниях на изгиб вокруг оправки диаметром $3d$ (d – диаметр стержня) арматурные стержни 1-й и 2-й партии показали неудовлетворительные результаты при испытании в день и через 5 дней после прокатки. Через месяц вылеживания были получены удовлетворительные результаты. Арматура 3-й партии показала удовлетворительные результаты во всех случаях.

Внешний вид изломов арматурных стержней после испытания на растяжение представлен на рисунке 2. Во всех случаях зарождение разрушения происходило по месту перехода «ребро-тело стержня». Видно, что при растяжении сразу после прокатки в изломах образцов всех партий основной объем занимает радиальная зона, расположенная перпендикулярно оси стержня (рисунок 2, а, г, ж) и имеющая четкую границу по периферии. Внешнее кольцо плоскости излома (зона среза), которое для арматурных

стержней всех 3-х партий распространяется на глубину 4,5 – 5,5 мм, расположено под углом 45 градусов к оси стержня. В осевой части изломов наблюдаются очаги разрушения, представленные локальными участками округлой формы (ямками) с мелкокристаллическим строением. На дне ямок наблюдаются места хрупкого скола небольшой протяженности, что свидетельствует о присутствии водорода в данном объеме металла. В центре образцов арматуры всех партий расположена зона долома диаметром примерно 4 – 7 мм, которая имеет волокнистое строение (рисунок 2, а, г, ж).



◆ – 1-я партия, ▲ – 2-я партия, ● – 3-я партия

Рисунок 1 – Изменение свойств арматуры в процессе вылеживания

После вылеживания в течение 5-ти дней изменений в характере изломов образцов арматуры 1-й партии не обнаружено (рисунок 2, б). У образцов 2-й партии наблюдается увеличение площади участков хрупкого скола (рисунок 2, д). Изломы арматуры 3-й партии имеют сотовое строение волокнистой зоны, образованное по механизму ямочного разрыва. Толщина зоны среза увеличилась до 8 мм, 1/3 часть радиальной зоны располагается под углом 45 градусов к оси арматурного стержня (рисунок 2, з).

После вылеживания арматуры в течение 30 дней поверхность изломов образцов всех 3-х партий (рисунок 2, в, е, и) становится одинаковой и состоит из 3 зон: волокнистой, радиальной и зоны среза. Толщина последней возросла до 10 мм, что свидетельствует об увеличении вязкости стали.

При исследовании металлографических шлифов методами оптической микроскопии различий в структуре термически упрочненных арматурных стержней всех трех партий после различного времени вылеживания не обнаружено.

При электронно-микроскопическом исследовании существенных различий в тонкой структуре арматуры всех 3-х партий выявлено не было. От-

сутствие изменений в структуре, незначительное изменение механических свойств арматурных стержней и успешные испытания на изгиб после вылеживания позволяют сделать предположение о водородной природе низкой технологической пластичности металла [1]. Для подтверждения этого оценивали выделившийся при вылеживании арматуры водород методом глицериновых проб [1].

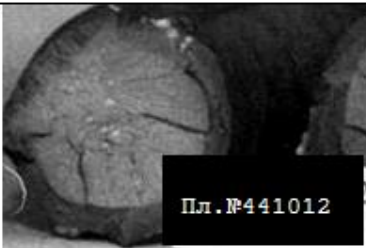
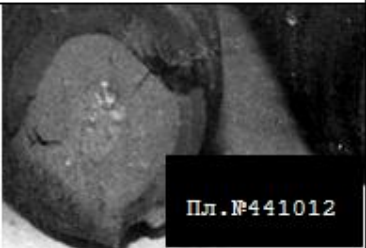

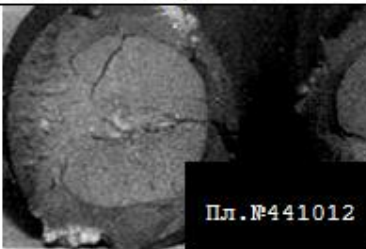
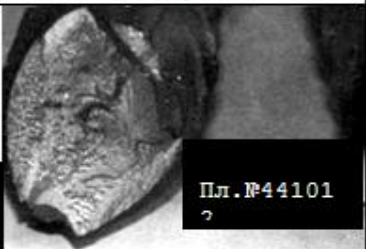
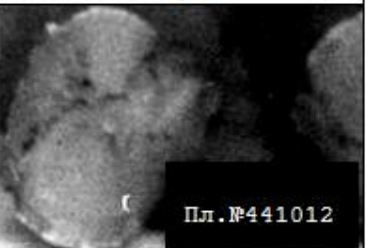

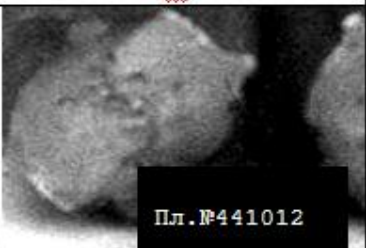
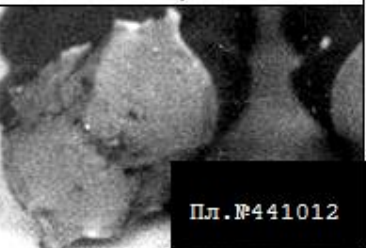
№ партии	Время вылеживания после прокатки		
	день	неделя	месяц
1	 а)	 б)	 в)
2	 г)	 д)	 е)
3	 ж)	 з)	 и)

Рисунок 2 – Внешний вид изломов, полученных при испытании на растяжение образцов всех партий после различного времени вылеживания после прокатки

Было установлено, что максимальное количество водорода наблюдалось в образцах после прокатки без вылёживания. С увеличением времени вылёживания выделение водорода смещалось в сторону низких температур, а его количество монотонно снижалось.

Таким образом, в реальных технологических условиях при механических испытаниях арматуры необходимо учитывать то, что водород, накапли-

ваясь в переходных структурных зонах, может являться достаточно сильным «регулятором» механических свойств изделия.

Библиографический список

1. Шаповалов В.И. Влияние водорода на структуру и свойства железоуглеродистых сплавов. – М.: Металлургия, 1982. – 232 с.
2. Смияненко И.Н., Бабенко М.А., Щур В.А. и др. Влияние водорода на свойства готового проката // Теория и практика металлургии. – 2004. – № 3 – 4. – С. 147 – 151.
3. Целлермаер В.Я., Громов В.Е., Полторацкий Л.М. и др. Водородное охрупчивание феррито-перлитных сталей при волочении // Известия вузов. Физика. – 1996. – № 3. – С. 97 – 108.

УДК 621.746.019

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ДЕФЕКТЫ В ОТЛИВКАХ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

САМОЙЛОВА Ю.О., ЧИЧКОВА А.Е.

ОАО «ЦНИИТМаш»

г. Москва

Производство отливок из чугуна с шаровидной формой графита относится к самым сложным разделам литейного производства. Требования к строгому соблюдению всех технологических процессов, начиная с подбора шихтовых материалов и заканчивая термической обработкой и окончательным контролем за готовой продукцией, являются в этом случае самыми высокими. Это связано с высокой чувствительностью указанного материала к различным примесям, своеобразием литейных свойств, повышенной склонностью к образованию шлаковых включений и т.д.

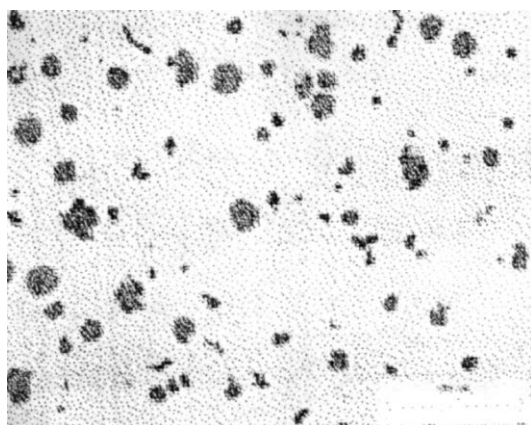
Особенно высоки требования к чистоте шихтовых материалов в отношении элементов, обладающих демодифицирующим эффектом. Их присутствия в сотых, а иногда и в тысячных долях, достаточно, чтобы вызвать частичную или даже полную деглобуляризацию модифицированных чугунов.

Данная статья описывает несколько наиболее часто встречающихся дефектов в отливках из высокопрочного чугуна (ВЧ), относящихся к дефектам микроструктуры и дефектам структуры графита.

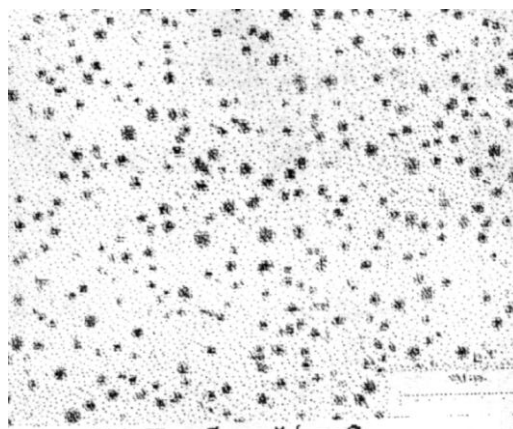
Дефекты микроструктуры являются одной из важных причин неудовлетворительных свойств отливок из ВЧ, поэтому очень важно контролировать факторы, оказывающие влияние на образование данных дефектов.

Статья основана на работах, подготовленных научно-исследовательским центром «Elkem Research».

Рассматриваемые дефекты представлены на рисунках 1 – 8.



151 глобулей/мм²



712 глобулей/мм²

Рисунок 1 – Малое количество включений шаровидного графита

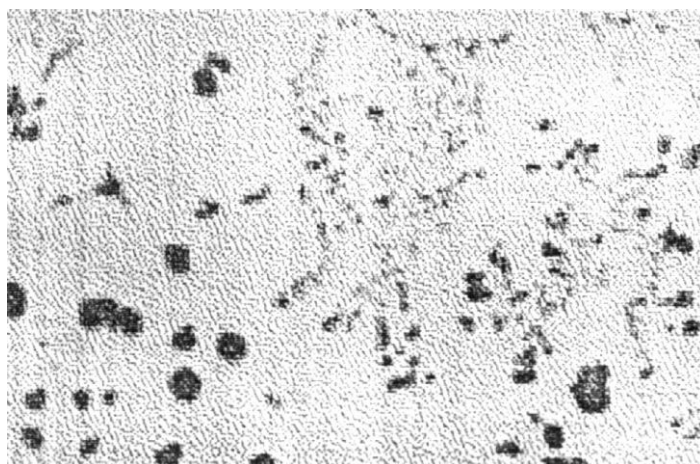


Рисунок 2 – Колонии графита

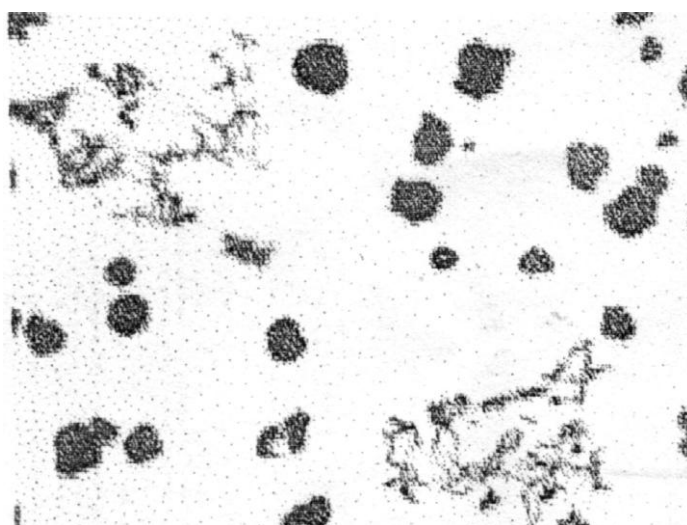


Рисунок 3 – «Игольчатый» графит

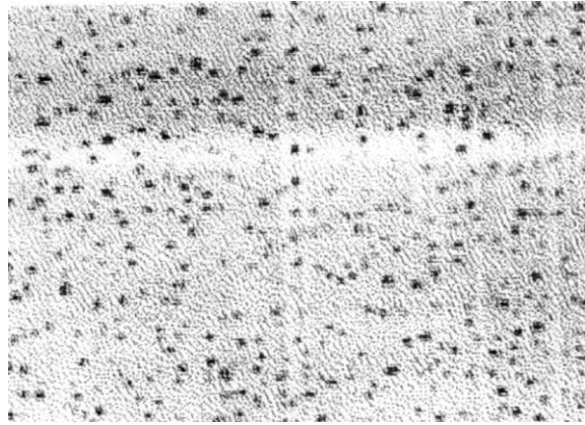
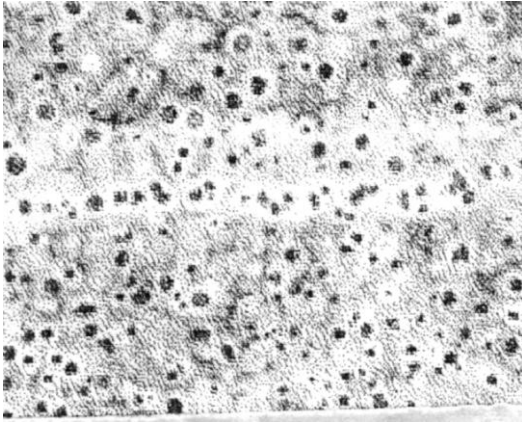


Рисунок 4 – Цепочки включений графита шаровидной формы

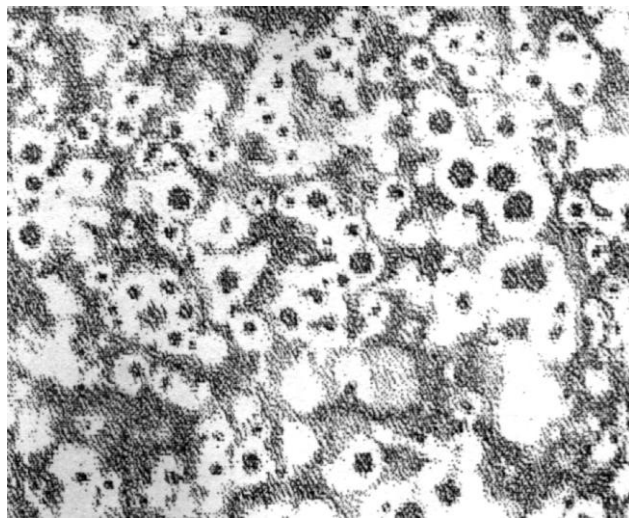


Рисунок 5 – Низкое соотношение Феррит/Перлит

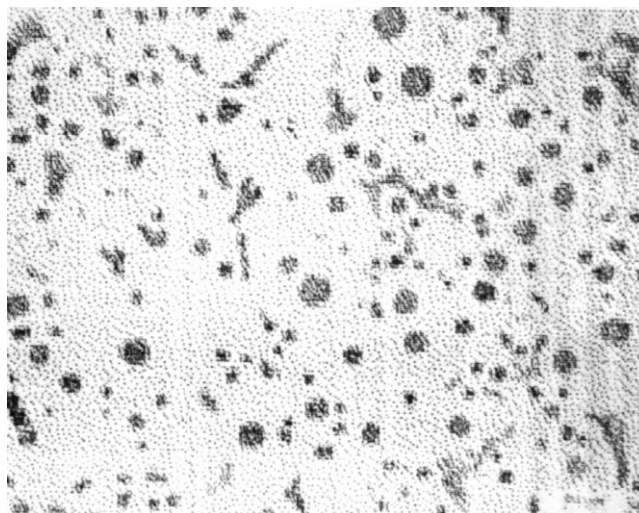


Рисунок 6 – Низкое соотношение Перлит/Феррит

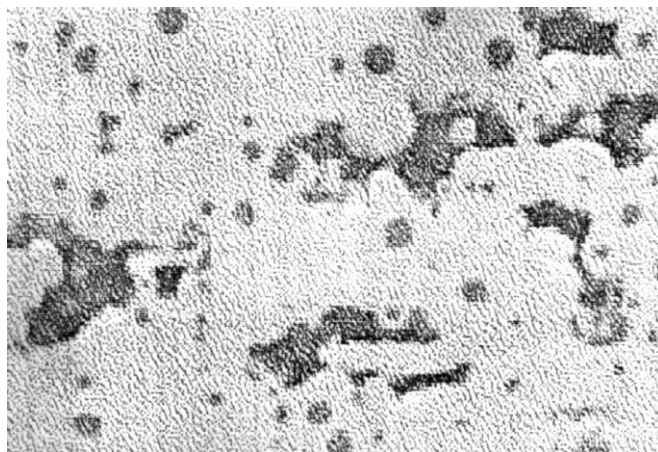


Рисунок 7 – Усадочная пористость



Рисунок 8 – Шлаковые включения

Для предупреждения металлургических дефектов в отливках из высокопрочного чугуна необходимо:

- использовать высококачественные шихтовые материалы с низким содержанием элементов, оказывающих отрицательное воздействие на микроструктуру отливок (Mn, S, V, Mo, Ti, Cr и др.);
- применять эффективный технологичный процесс обработки базового чугуна, обеспечивающий постоянство химических анализов, высокое усвоение модификаторов и эффективное использование тепла металла;
- использовать высококачественные сфероидизирующие модификаторы с постоянным химическим составом и размером фракций;
- цена модификатора не должна являться определяющим фактором при выборе конкретной марки, так как стоимость модифицирования единицы объема базового чугуна не соизмерима с потерями от брака при использовании дешевых суррогатов, которые не дают возможности контроля за металлургическими дефектами;

– использовать высококачественные графитизирующие модификаторы, специально подобранные для конкретных условий производства.

Возможные причины, вызывающие формирование дефектов:

– недостаточно эффективные процедуры удаления шлака из реакционного ковша или неправильная работа литниковой системы;

– недостаточное время выдержки между обработкой металла и заливкой форм, не позволяющее шлаку всплывать на зеркало металла для его удаления;

– недостаточно эффективная работа шлакоуловителей или фильтров в литниковой системе;

– низкая температура заливки;

– высокая температура обработки, приводящая к использованию больших навесок магния;

– избыточное содержание серы в базовом чугуне, приводящее к необходимости использования чрезмерно большой навески магния;

– избыточное количество шлакообразующих элементов, попавших в расплав с ферросплавами (таких как Са и Al);

– турбулентное заполнение форм.

Возможные способы устранения причин, вызывающих дефекты:

– улучшить процедуры удаления шлака с поверхности металла, а также используя тангенциальные шлакоуловители;

– увеличить время выдержки между обработкой металла и удалением шлака для более полного разделения металла и шлака;

– произвести контроль расчета литниковой системы, уменьшить скорость и турбулентность потока металла;

– использовать фильтры в литниковой системе;

– избегать высоких температур обработки и больших навесок магнийсодержащих модификаторов;

– ограничивать и строго контролировать содержание серы в базовом чугуне;

– избегать использования ферросплавов с высоким содержанием Са и Al;

– улучшить термическую эффективность процесса (снизить потери тепла металла), что позволит минимизировать температуру обработки металла.

Библиографический список

1. Чайкин А.В. Повышение свойств серых и высокопрочных чугунов модифицированием / В.А. Чайкин, В.В. Ишутин // Труды VI съезда литейщиков России / под ред. И.А. Диброва; изд-во УГТУ-УПИ – Екатеринбург. – С. 125 – 131.
2. <http://lityo.com.ua>

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СОРТОВОГО ПРОКАТА ИЗ ПОДШИПНИКОВОЙ СТАЛИ

**МОХОВ Г.В, МУХАТДИНОВ Н.Х., КОЗЫРЕВ Н.А., КОРНЕВА Л.В, БОЙКОВ Д.В.,
ЗАХАРОВА Т.П., ПРОКОПЬЕВА Т.В., ТИММЕРМАН Н.Н., АТКОНОВА О.П.**

*ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат»
г. Новокузнецк*

Работа в рыночных условиях при растущих требованиях потребителей к качеству выпускаемой металлургами продукции невозможна без постоянного совершенствования действующей технологии производства, а также внедрения новых технологических процессов и оборудования.

На Новокузнецком металлургическом комбинате имеется полный комплекс высокотехнологичного металлургического оборудования, позволяющий не только получать продукцию высокого качества, но и значительно расширить ее ассортимент.

Оснащение электросталеплавильного цеха двумя сверхмощными 100-тонными дугowymi электропечами, одна из которых оборудована кислородной системой интенсификации плавки фирмы BSE, другая – установкой FUCHS, агрегатами ковш-печь с двухручьевыми трайбаппаратами для присадок материалов в проволоке, вакууматором камерного типа фирмы «DANIELI/CENTRO-MET» с пароэжекторным вакуумным насосом, обеспечивающим разрежение не более 0,3 торр, двумя четырехручьевыми МНЛЗ радиального типа с кристаллизаторами из холоднокатаной меди с сечением 300×340 мм, а также ввод в эксплуатацию современной печи с шагающими балками в сочетании с исчерпывающим набором средств контроля технологического процесса и качества готовой продукции позволили приступить к разработке принципиально нового технологического процесса производства подшипниковой стали, предусматривающего получение проката, удовлетворяющего требованиям Межгосударственного отраслевого стандарта ГОСТ 801-78.

В данной работе представлены результаты работы по освоению технологии производства сортового проката сечением до 60 мм из шарикоподшипниковой стали марки ШХ-15В.

Выплавку полупродукта производили в 100-тонной дуговой печи с использованием твердого чугуна в количестве до 40 % от общей массы металлошихты. Для обеспечения содержания фосфора в металле перед выпуском из печи не более 0,015 % шлак периода плавления обновляли периодически присадками извести с общим расходом до 5 тонн.

Выпуск металла производили с «кипа» с максимально возможной отсечкой печного шлака при достижении требуемых значений температуры (1660 – 1700 °С) и концентрации фосфора и углерода. В начале выпуска ме-

талла в ковш присаживали шлаковую смесь, состоящую из 700 кг извести и 150 – 200 кг плавикового шпата, а также алюминий чушковый в количестве 50-80 кг, ферросилиций – на 0,15 % кремния и углеродистый феррохром – на нижний предел содержания хрома для готовой стали.

При внепечной обработке на АКП металл и шлак раскисляли периодическими присадками смеси порошков кокса, ферросилиция ФС75 и дроби алюминия. Состав шлака корректировали присадками извести и плавикового шпата. В конце обработки металла на АКП присаживали алюминиевую кантанку на содержание алюминия в металле 0,020 – 0,025 %. Далее металл подвергали вакуумированию в течение не менее 20 минут. Содержание водорода в конце обработки перед отдачей на МНЛЗ составило в среднем 1,7 ppm.

При достижении температуры металла 1515 – 1530 °С производили утепление зеркала расплава перлито-коксовой смесью, ковш с металлом передавали на МНЛЗ. Разливка стали производилась с защитной трубой с использованием уплотняющих вставок ЭЛОМ в режиме АПУ со скоростью вытягивания слитка 0,5 – 0,6 м/мин. Температура металла в промковше по ходу разливки составила 1465 – 1480 °С.

Далее производилось охлаждение непрерывнолитых заготовок (НЛЗ) в ямах замедленного охлаждения с закрытыми крышками до достижения температуры заготовок (усредненной) 400 °С. По достижении указанной температуры заготовки выгружали для осмотра. При осмотре НЛЗ дефектов поверхности не обнаружено. Отгрузка заготовок для прокатки производилась в вагонах-термосах с выделением контрольных заготовок: средних (с литерой «С») и последних (с литерой «А») по разливке заготовок каждого ручья.

Нагрев НЛЗ перед прокаткой производился в печи с шагающими балками (ПШБ) по специально разработанному режиму в течение 5 ч 30 мин. Температура поверхности металла перед посадкой в ПШБ составила в среднем 220 – 345 °С.

Прокатка заготовок осуществлялась в рельсобалочном цехе. Температура металла перед прокаткой на клети 900 составила 1130 – 1190 °С, температура конца прокатки после чистовой клети 850 – 1000 – 1030 °С.

Прокатка НЛЗ на готовый сорт осуществлялась в две стадии. Первоначально НЛЗ прокатывали на промежуточную заготовку сечением 120×120 мм, после чего полосы раскраивали на пилах горячей резки на 3 краты длиной 11200 мм каждая. Порезанные заготовки передавали на участок коробов замедленного охлаждения. Температура заготовок на момент загрузки в короб составляла 550 – 650 °С. Охлаждение заготовок производилось в течение 40 ч с закрытыми крышками. Для прокатки готового профиля заготовки нагревали в методической печи по специально разработанному режиму нагрева:

- температура у окна посадки не выше 800 °С;
- температура верхней и нижней сварочной зоны – 1180 – 1220 °С;
- температура томильной зоны – 1190 – 1220 °С;

– общее время нагрева металла, не менее – 1 ч 45 мин.

Температура нагрева металла на выдаче из печи составила 1140 – 1170 °С, что обеспечило температуру поверхности раската после прокатки в чистовой клети стана 450 в пределах 1035 – 1045 °С.

Порезку раскатов производили на маятниковой пиле горячей резки. После правки, полного охлаждения в штабелях, защищенных от сквозняков, готовый металлопрокат передали в отделение адьюстажа для обработки на наждачных станках.

Аттестацию качества металлопроката по макро- и микроструктуре проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 801-78 в готовом сорте на контрольных заготовках с литерами «А» и «С». С целью предотвращения образования трещин напряжения перед изготовлением образцов пробы предварительно охлаждали в песке в коробе-термостате с закрытой крышкой в течение 16 ч, после чего подвергали смягчающему отжигу в течение 8 ч 40 мин по специально разработанному режиму.

Предварительно проведенное исследование заготовок сечением 120×120 мм показало удовлетворительное качество макроструктуры по точечной неоднородности и центральной пористости. При этом подусадочная ликвация и микропористость имели значительную степень развития, оцениваемые соответственно 2,5 – 3,0 и 5 – 4 баллами, что свидетельствовало о значительно развитой осевой химической неоднородности НЛЗ. Металлографический анализ показал достаточно высокую чистоту стали по металлическим включениям.

Результаты аттестационного контроля качества готового сортового проката подшипниковой стали приведены в таблицах 1 – 3.

Таблица 1 – Результаты оценки макроструктуры и изломов контрольных штанг готового сорта

Номер * пробы	Макроструктура по ГОСТ 10243, балл			Излом, балл
	точечная неоднородность	центральная пористость	ликвационный квадрат	
A1	0	2,0	0	год.
A2	0	1,0	0	год.
A3	0	0,5	0	год.
A4	0	0,5	0	год.
C1	0	1,0	0	год.
C2	0	0,5	0	год.
C3	0	0,5	0	год.
C4	0	1,5	0,5	год.
Требования по ГОСТ 801	не более			-
	1,5	2,0	0,5	

Примечание: * – номер пробы соответствует маркировке контрольной заготовки: литера «А» – последняя по разливке (головная) заготовка; литера «С»

средняя по разливке заготовка; цифры 1, 2, 3, 4 – № ручья.

Таблица 2 – Загрязнённость неметаллическими включениями сортового проката подшипниковой стали ШХ15-В

Номер * пробы	Оценка по шкалам ГОСТ 801-78					
	Сульфиды	Оксиды	Карбидная ликвация	Глобулы	Микропористость	Структурная полосчатость
A1	1,0	1,0	0	2,0	0	2,5
A2	1,0	1,0	0	0,5	0	1,5
A3	1,0	1,0	0	2,0	0	2,5
A4	1,0	2,5	0	2,5	0	2,5
C1	1,0	1,0	0	1,0	0	1,5
C2	1,0	1,0	0	0	0	2,5
C3	1,0	1,0	0	0,5	0	2,0
C4	1,0	1,0	0	0	0	2,0
Требования по ГОСТ 801-78	не более					
	2,5	3,0	3,0	2,5	3,0	4,0

Примечание: * – номер пробы соответствует маркировке контрольной заготовки: литера «А» – последняя по разливке (головная) заготовка; литера «С» средняя по разливке заготовка; цифры 1, 2, 3, 4 – № ручья.

Таблица 3 – Массовая доля кислорода в металле подшипниковой стали ШХ15-В промежуточном профиле и в готовом сорте

Профиль	Массовая доля кислорода в контрольных заготовках, ppm							
	A1	A2	A3	A4	C1	C2	C3	C4
Промежуточный профиль 120×120 мм	14	11	13	12	9	14	12	15
Готовый сорт	12	10	10	10	13	12	13	13
Требования ГОСТ 801-78	не более 15 ppm							

Макроструктура готового сорта показала удовлетворительные результаты и характеризовалась центральной пористостью от 0,5 до 2,0 балла и ликвационным квадратом до 0,5 балла. Точечная неоднородность в макроструктуре отсутствовала, о чем свидетельствовала однородная поверхность изломов фарфоровидного и мелкозернистого строения.

Металлографический контроль выявил отсутствие микропористости и карбидной ликвации. По загрязнённости неметаллическими включениями и содержанию кислорода металл готового сортового проката соответствовал

требованиям стандарта. Глубина обезуглероженного слоя в готовом прокате, контролируемая по ГОСТ 1763-68, составила не более 0,18 мм, что значительно меньше предельно допустимой глубины.

Испытания на горячую осадку, проводимые по ГОСТ 8817, прокат сечением до диам. 60 мм выдержал. Трещины и надрывы на поверхности образцов отсутствовали.

Вывод.

Разработана принципиально новая технология производства подшипниковой стали, включающая выплавку полупродукта в сверхмощных дуговых электропечах, внепечную обработку с доводкой металла на агрегате ковш-печь и вакуумированием, нагрев НЛЗ в методической печи с шагающими балками и прокату с охлаждением промежуточного профиля в коробах замедленного охлаждения.

Разработанная технология позволила получить сортовой прокат по макроструктуре, загрязненности неметаллическими включениями, микропористости, карбидной ликвации, структурной полосчатости, глубине обезуглероженного слоя и уровню содержания кислорода удовлетворяющий требованиям Межгосударственного отраслевого стандарта ГОСТ 801-78.

УДК 658.512.6:621.77

ОБОСНОВАНИЕ НОРМАТИВНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОКАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

МУСАТОВА А.И., КУЛАКОВ С.М., КАДЫКОВ В.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Как известно, объем производства продукции определяется производительностью цеха, фондом времени его работы, а также степенью интенсивного и экстенсивного использования основного и вспомогательного оборудования. Одной из важнейших задач при планировании объемов производства является оценивание нормативных значений производительности $\{P_c^H\}$ цеха, как действующей системы, состоящей из взаимосвязанных подсистем (участков). Решение этой задачи целесообразно осуществлять исходя из следующих соотношений:

$$P_c^H = \frac{G}{T_c^H \cdot k_p}, \quad (1)$$

$$T_c^H = \max \{T_1^H, \dots, T_j^H, \dots, T_n^H\} \quad (2)$$

$$T_j^H = \frac{T_j^{mv}}{K_{u.j}^H}, \quad (3)$$

$$K_{u.j}^H = (1 - q_{ск.j}^H) \quad (4)$$

где G – номинальный вес заданной единицы полуфабриката;

T_c^H – нормативный такт процесса изготовления продукции (такт работы системы);

$T_j^{H(mv)}$ – нормативный (технически возможный) такт работы j -го производственного участка;

k_p^H – удельная норма расхода полуфабриката на единицу продукции;

$K_{u.j}^H$ – нормативный коэффициент использования оборудования j -го участка, $K_{u.j}^H \in [0, 1]$, учитывающий долю $q_{ск}^H$ скрытых простоев, возникающих при его функционировании.

Под тактом работы j -го участка понимается отрезок времени между одноимёнными моментами обработки (начало или окончание) двух смежных единиц продукции (например, заготовок, раскатов, пакетов). Нормативный такт T_c^H работы цеха выбирается из множества тактов работы участков цеха по формуле (2), которая справедлива для последовательного соединения участков.

Авторы на протяжении ряда лет занимались комплексными исследованиями и моделированием производственных процессов в прокатных цехах. Были разработаны методики и алгоритмы, в соответствии с которыми рассчитывались технически возможные такты, длительности операций, циклов; определялись нормативные коэффициенты использования основного и вспомогательного оборудования, зависящие от доли скрытых простоев [1 – 3].

Следует отметить, что в прокатном производстве простои разделяются на текущие и скрытые. Первые существенно влияют на фонд времени работы оборудования, на коэффициент экстенсивности его загрузки. Вторые влияют на производительность оборудования (через коэффициент использования) и характеризуют интенсивность его загрузки. *К текущим простоям* относятся перерывы в работе ведущего оборудования в течение смены, сопровождающиеся остановками электродвигателя, связанные с содержанием и мелким ремонтом оборудования, сменой вида проката, заменой изношенных валков и быстроизнашивающихся деталей, с необходимостью подготовительно-заключительных работ (например, прием и сдача смены), а также связанные с организационно-техническими неполадками, технологическими нарушениями процессов обработки и другими факторами. Обычно длительность конкретного простоя оборудования фиксируется (с указанием причи-

ны остановки) в первичной учетной документации, начиная с простоя длительностью две-пять минут (в зависимости от типа стана и наличия автоматизированной системы слежения за потоком металла). *К скрытым простоям* относятся непродолжительные перерывы (паузы, задержки) в работе ведущего оборудования, не сопровождающиеся остановками электроприводов. Обычно продолжительность каждого скрытого простоя оборудования составляет до двух-пяти минут, которые не фиксируются в учетной документации.

Текущие простои предлагается классифицировать по причинам возникновения: на внутрицеховые, которые связаны с внутренними техническими, технологическими, организационными причинами и внешние, которые не зависят от работы цеха (отсутствие заказов, металла, топливно-энергетических ресурсов и т.п.). Такая классификация позволит определить закономерности, выявить и оценить определяющие факторы, наметить пути снижения простоев, разработать обоснованные нормативные, плановые и прогнозные значения. Для разработки классификации скрытых простоев и оценивания нормативных значений коэффициентов использования прокатного оборудования проводились визуальные и хронометражные наблюдения, мониторинговое слежение за фактической работой каждой единицы оборудования, а также за продвижением металла (материальным потоком). Полученные сведения позволили реализовать следующие поставленные задачи:

- декомпозиция производственной системы (цеха) на подсистемы (участки) с выделением их основного технологического оборудования;
- выбор «фиксажных точек» (границ операций) и определение моментов их начала и окончания;
- определение ситуационных тактов работы оборудования посредством обработки эмпирических данных и экспертных оценок;
- декомпозиция каждой операции на элементы и микроэлементы (с учетом параллельности осуществления некоторых элементов), а также каждого такта;
- построение многовариантной модели способов подачи металла (заготовок) в агрегат, технологии его обработки (с учетом принципа действия оборудования), а также способов выдачи обработанного металла из оборудования;
- оценивание фактической длительности скрытых простоев и выявление причин их возникновения;
- построение модели влияния человеческого фактора при организации и оперативном управлении производственным процессом.

С целью выявления, имеющих в цехе «узких мест», технологических отклонений от регламентированного хода процесса и сбоев в работе оборудования проводились опросы экспертов, а также изучались токовые диаграммы электродвигателей привода основного оборудования, данные о температуре обрабатываемого металла, скоростных условиях прокатки, а также сведения о показателях производства, полученные из документов первично-

го учета. Средние значения скрытых простоев по каждой единице основного оборудования оценивались с использованием помехозащищенных алгоритмов по всему сортаменту продукции для разных интервалов времени (смена, сутки, неделя). Методика анализа первичных данных и оценивания нормативных значений скрытых простоев в общем виде представлена на рисунке 1. Необходимо учесть, что часть скрытых простоев (пауз) являются технически и технологически неизбежными, зависящими от конструкции оборудования и вспомогательных механизмов, а также от используемых технологических режимов. Продолжительность пауз определяется расчетным путем и включается в состав технически возможного такта работы оборудования.

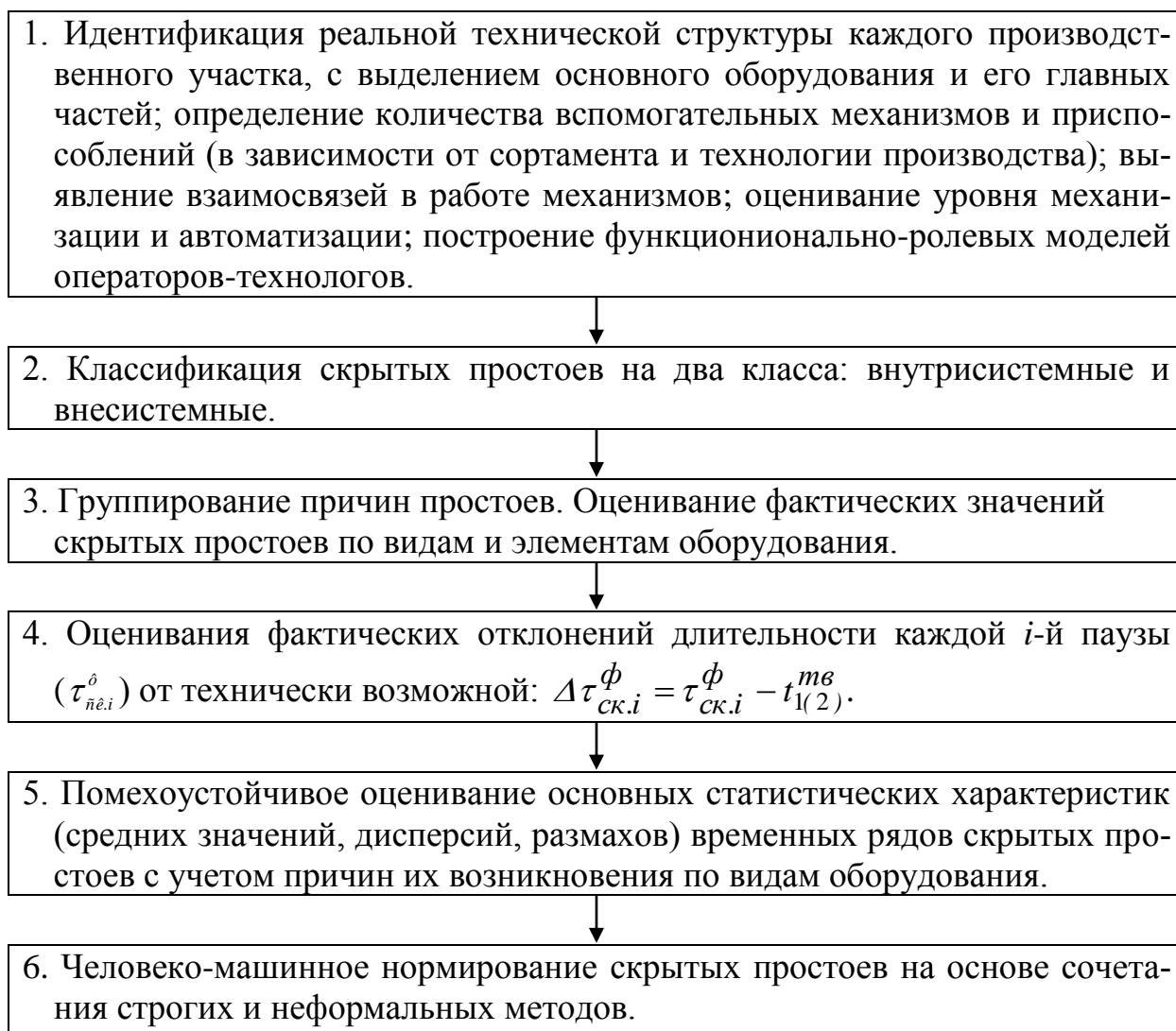


Рисунок 1 – Процедура формирования и подготовки данных для нормирования скрытых простоев прокатного оборудования

На каждом вспомогательном участке прокатного цеха (например, на участках нагрева, охлаждения, правки, порезки, пакетировки металла) возникают скрытые простои в работе оборудования, имеющие свои, специфиче-

ские особенности, связанные с техникой, технологией и организацией производства.

Рассмотрим классификацию причин возникновения скрытых простоев на примере прокатного оборудования (рабочих клетей).

Технические факторы: техническое состояние рабочих клетей, электродвигателей, редукторов, соединительных и других деталей; техническое состояние вспомогательных механизмов (рольгангов подводящих и отводящих, передающих устройств: шлепперов, кантователей, направляющих линеек, подъемно-качающихся столов и др.); прочность и износостойкость прокатных валков.

Технологические факторы: качество настройки привалковой арматуры и валков; нарушение температурного режима прокатки и несоблюдение оптимального скоростного режима прокатки; переход от прокатки в одну заготовку к прокатке в несколько заготовок.

Организационные факторы: уровень квалификации обслуживающего персонала (вальцовщиков, механиков, электриков) и управляющего персонала (операторов постов управления); несогласованные действия обслуживающего, управляющего и руководящего персонала (мастера).

Прочие факторы: задержки из-за несогласованных действий работы предыдущих и последующих участков, в том числе из-за работы смежного оборудования и его управляющего персонала (операторов, мастеров, диспетчера, начальника смены); качество поступающего для обработки металла и другие.

Процедура обоснования нормативных коэффициентов использования оборудования для оценки нормативного такта работы цеха и его производительности (см. формулы (1) – (3)) приводится на примере сортопрокатного цеха.

Предварительно рассчитываются технически возможные такты работы оборудования по участкам цеха, выбирается такт системы для каждого профиля размера проката на основе разработанной математической модели функционирования прокатного цеха. Далее определяются нормативные коэффициенты использования оборудования на основе рассмотренного метода нормирования. Затем оцениваются фактические коэффициенты использования оборудования по участкам цеха:

$$K_u^\phi = \frac{T_{y.n}^{m\phi}}{T_c^\phi}; T_c^\phi = \frac{G}{P^\phi \cdot k_p},$$

где T_c^ϕ – фактический такт работы производственной системы (цеха);

P^ϕ – фактическая производительность цеха.

Ниже (в таблице 1) приведены фактические и расчетные значения тактов работы оборудования по участкам сортопрокатного цеха для одного профиля (на примере швеллера). Для её формирования определяются норма-

тивные и фактические доли (проценты) скрытых простоев оборудования, которые возникают в процессе производства продукции на каждом участке:

$$q_{скр}^H = (1 - K_u^H) \cdot 100, \%; \quad q_{скр}^\phi = (1 - K_u^\phi) \cdot 100, \%.$$

Таблица 1 – Выбор такта работы производственной системы (сортопрокатного) цеха для профиля (швеллер)

Такты работы участков производственной системы									Такт работы цеха с учетом двух печей и линий
нагрева в печах		прокатки в клети	охлаждения на секции холодильника		порезки на ножницах		пакетирования на линии		
одной	двух		одной	двух	одних	двух	одной	двух	
Технически возможные такты, с									
80	40	30	55	27,5	52	26	50	25	40
Нормативные такты, с									
90,9	45,4	32,6	60,4	30,2	57,8	28,9	53,8	26,9	45,4
Фактические такты, с									
114	57	57	114	57	114	57	114	57	57

После этого рассчитываются отклонения фактических скрытых простоев от нормативных по участкам цеха (то есть определяются сверхнормативные простои в процентах):

$$\Delta q_{скр}^\phi = q_{скр}^\phi - q_{скр}^H, \%.$$

На рисунке 2 показана интенсивность использования основного и вспомогательного оборудования для заданного профиля. На графике наглядно показано, что нормативные коэффициенты использования оборудования на всех участках, кроме нагревательных печей, имеют высокие значения. Во-первых, это связано с тем, что методические печи на участке нагрева металла физически и морально устарели.

Во-вторых, способ загрузки и выгрузки заготовок недостаточно автоматизирован, поэтому часто возникают дополнительные паузы между подачей смежных заготовок в печь. В-третьих, пропускная способность сортопрокатного цеха определяется по «узкому месту», участку нагрева (таблица 1), то есть такт работы системы (цеха) определяется тактом работы участка нагрева, который лимитирует работу основного участка прокатки.

Анализ полученных данных о фактическом использовании оборудования по участкам цеха по сравнению с нормативными данными выявил (таб-

лица 2), что на ряде вспомогательных участков (охлаждения, порезки, паке-тирования) технологическое оборудование недоиспользуется на 43 – 49 %, а на основном участке (прокатные клетки) – на 39 %, что вызвано неэффективной работой методических нагревательных печей. Для ликвидации «узкого места» необходимо разработать организационно-технические мероприятия, направленные на сокращение такта работы участка нагрева, что позволит повысить интенсивность работы прокатных клеток. Это даст возможность сократить скрытые простои и увеличить производительность сортопрокатного цеха.

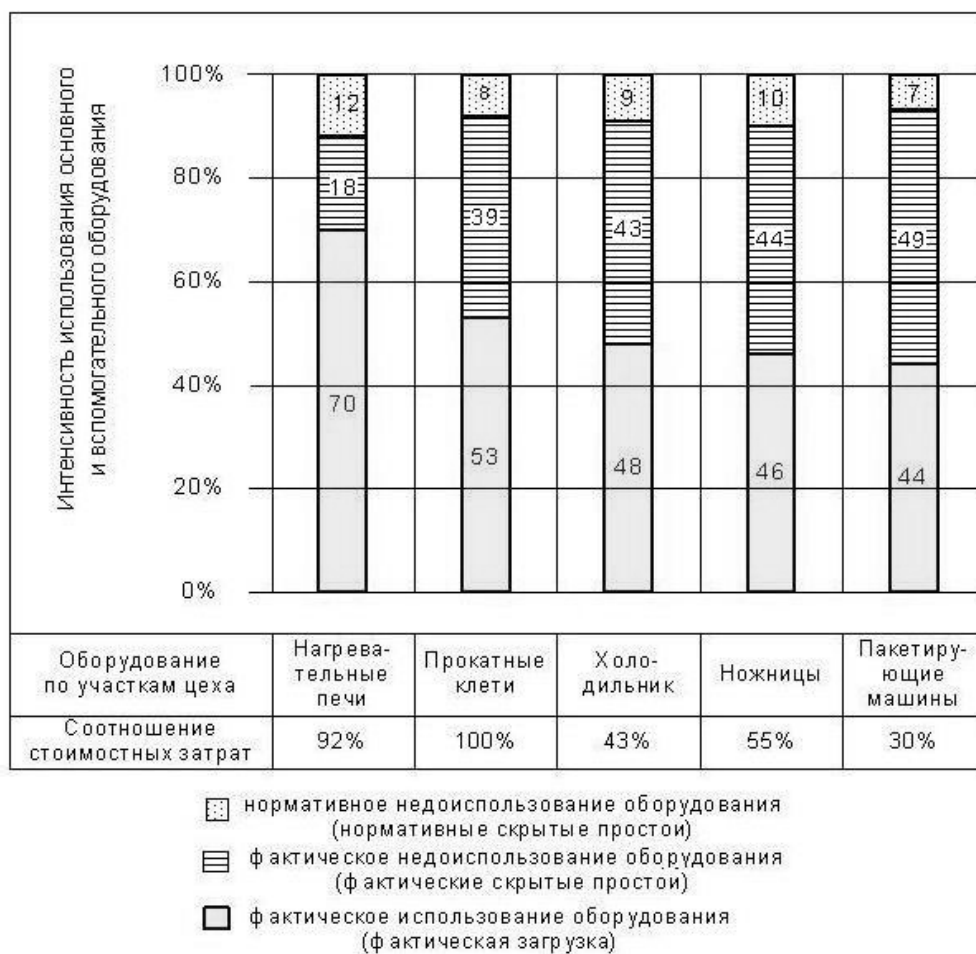


Рисунок 2 – Диаграмма фактического использования основного и вспомогательного оборудования сортопрокатного цеха

Таблица 2 – Анализ интенсивности использования оборудования участков

Показатели	Единицы измерения	Участки сортопрокатного цеха					Цех (система)
		нагрева	прокатки	охлаждения	порезки	пакетирования	
Коэффициенты использования оборудования:							
нормативный	-	0,88	0,92	0,91	0,90	0,93	0,88

фактический	-	0,70	0,53	0,48	0,46	0,44	0,70
Доли скрытых простоев в работе оборудования:							
нормативные	%	12	8	9	10	7	12
фактические	%	30	47	52	54	56	30
фактические сверхнормативные	%	18	39	43	44	49	18

Выводы. Рассмотрен один из важных параметров, связанный с производительностью цеха (системы) – коэффициент использования оборудования, который характеризует степень его загрузки и отражает долю скрытых простоев (пауз), возникающих при функционировании оборудования. Для оценивания нормативных значений коэффициентов использования оборудования изложен авторский подход, включающий исследование, нормирование и анализ скрытых простоев. Приведен конкретный пример реализации предлагаемой методики.

Библиографический список

1. Фомина Л.Д., Кулаков С.М., Кадыков В.Н., Мусатова А.И. и др. // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2002. – № 8. – С. 41 – 46.
2. Кулаков С.М., Мусатова А.И. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2003. – № 10. – С. 34 – 38.
3. Кулаков С.М., Кадыков В.Н., Мусатова А.И. // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2004. – № 8. – С. 45 – 50.

УДК 669.18:621.746.58

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВВОДА КАЛЬЦИЯ В МЕТАЛЛ

Носов Ю.Н., Мусохранов В.В.

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

В ККЦ-2 ОАО «ЗСМК» при производстве непрерывнолитой заготовки на 8-ручьева сортовой МНЛЗ по технологической цепи конвертер – УВОС – МНЛЗ раскисленный алюминием металл для обеспечения разливаемости модифицируют в ковше силикокальцием. Силикокальций марки СК30 в виде наполнителя порошковой проволоки диаметром 13,8 мм (наполнение 220 – 263 г/м) вводится в 320-тонный сталеразливочный ковш на установке внепечной обработки стали (УВОС) с помощью двухручьевого трайб-аппарата со скоростью примерно 5м/с с расходом, обеспечивающим разливаемость без затягивания погружных стаканов промковша МНЛЗ при отношении

$[Ca]/[Al]_{\text{общ}} = 0,08 - 0,12$. Модифицирование проводится на заключительном этапе выпечной обработки после доводки химического состава металла, в том числе и алюминию.

Результаты обработки металла силикокальцием по данным 343 плавов стали марок 08сп, 3сп, 5сп, 18Г2С, разлитых на сортовой МНЛЗ, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты обработки стали порошковой проволокой с силикокальцием

Марка стали	Кол-во плавок	Расход, кг/т		[Ca] ^{УВОС} , %	$\eta_{\text{Na}}^{\text{OAI N}}$, %	[Ca] ^{МНЛЗ} , %	$\eta_{\text{Na}}^{\text{NEA}}$, %	[Al] _{раств} ^{кон.УВОС} , %	t ^{нач.УВОС} , °C	(FeO) ^{нач.УВОС} , %
		п.п.	SiCa							
08сп	29	0,64÷1,34	0,37÷0,80	0,0020÷0,0040	10,4÷22,3	–	–	0,011÷0,047	1629÷1683	1,76÷10,66
		1,14	0,68	0,0030	15,4			0,024	1656	4,61
3сп	181	0,77÷1,74	0,44÷1,02	0,0019÷0,0048	6,8÷25,7	0,0011÷0,0027	5,5÷14,7	0,012÷0,038	1596÷1678	1,17÷10,78
		1,14	0,66	0,0030	16,4	0,0016	9,1	0,023	1641	4,34
5сп	76	0,82÷1,52	0,47÷0,90	0,0023÷0,0049	13,6÷25,9	–	–	0,013÷0,043	1615÷1671	1,13÷7,01
		1,06	0,62	0,0033	18,9			0,023	1645	2,98
18Г2С	57	0,74÷1,61	0,43÷0,95	0,0022÷0,0056	8,2÷36,6	0,0013÷0,0025	6,2÷16,6	0,017÷0,045	1612÷1666	0,97÷8,28
		1,05	0,60	0,0033	20,3	0,0018	9,4	0,026	1635	3,53
Итого	343	0,64÷1,74	0,37÷1,02	0,0019÷0,0056	6,8÷36,6	0,0011÷0,0027	5,5÷16,6	0,011÷0,047	1596÷1683	0,97÷10,78
		1,11	0,64	0,0031	17,5	0,0017	9,2	0,024	1642	3,92

При расходе порошковой проволоки 0,64 – 1,74 кг/т и силикокальция 0,37 – 1,02 кг/т достигнуты концентрации кальция в металле после ввода $[Ca] = 0,0019 – 0,0056 \%$ при коэффициенте усвоения кальция $\eta_{Ca} = 6,8 – 36,6 \%$ (в среднем 17,5 %) и отношении $[Ca]/[Al]_{общ} = 0,054 – 0,250$ (в среднем 0,113).

В связи со значительными колебаниями коэффициента усвоения кальция η_{Ca} рассмотрено влияние различных технологических факторов на эффективность ввода кальция в металл. Установлено, что при одинаковых технологии ввода порошковой проволоки, материала для модифицирования и материала футеровки сталеразливочных ковшей нестабильность усвоения кальция связана с поплавочными колебаниями окислительного потенциала металла и шлака, а также содержанием серы в металле и температурой. Получены следующие уравнения парных регрессий:

$$\eta_{Ca} = 167,6722 * [Al]_{кон} + 13,56, R^2 = 0,1471, \quad (1)$$

$$\eta_{Ca} = -1,1302 * (FeO)_{нач} + 21,95, R^2 = 0,2894, \quad (2)$$

$$\eta_{Ca} = 0,0378 * t_{нач} - 44,48, R^2 = 0,0145, \quad (3)$$

$$\eta_{Ca} = -165,3111 * [S]_{нач} + 19,96, R^2 = 0,0169, \quad (4)$$

где $[Al]_{кон}$ – конечная концентрация растворенного алюминия на УВОС, %;

$(FeO)_{нач}$ – начальная концентрация (FeO) в шлаке на УВОС, %;

$t_{нач}$ – начальная температура металла на УВОС, °C;

$[S]_{нач}$ – начальная концентрация серы в металле на УВОС, %.

Эффективность ввода кальция возрастает при увеличении концентрации алюминия и температуры металла и снижении концентраций (FeO) в шлаке и серы в металле. Увеличение концентрации алюминия на каждые 0,01 % в интервале 0,011 – 0,045 % и снижение (FeO) в шлаке на каждый 1 % в интервале 1 – 10 % приводит к возрастанию η_{Ca} примерно на 1 %. Повышение температуры металла вначале внепечной обработки на каждые 10 °C в интервале 1610 – 1680 °C приводит к росту η_{Ca} примерно на 0,4 %, а снижение концентрации серы на каждые 0,01 % в интервале 0,009 – 0,024 % увеличивает η_{Ca} примерно на 1,6 %.

Для оценки общего влияния и доли влияния каждого фактора выполнен множественный регрессионный анализ. Получено следующее уравнение множественной регрессии:

$$\eta_{Ca} = 64,54 - 1,3505 * (FeO)_{нач} + 131,2360 * [Al]_{кон} + 0,0265 * t_{нач} - 10,8249 * [S]_{нач}, R^2 = 0,3562, \sigma = \pm 4,42 \quad (5)$$

при доле влияния: $(FeO)_{нач} = 88,1 \%$, $[Al]_{кон} = 10,0 \%$, $t_{нач} = 1,8 \%$, $[S]_{нач} = 0,1 \%$.

Из уравнений парных (1) – (4) и множественной (5) регрессий следует, что основными технологическими факторами, определяющими эффективность ввода кальция в сталь, являются концентрации (FeO) в шлаке и алю-

миния в металле, т.е. окисленность шлака и металла (рисунки 1 и 2). Температура металла и концентрация серы влияют на η_{Ca} значительно слабее.

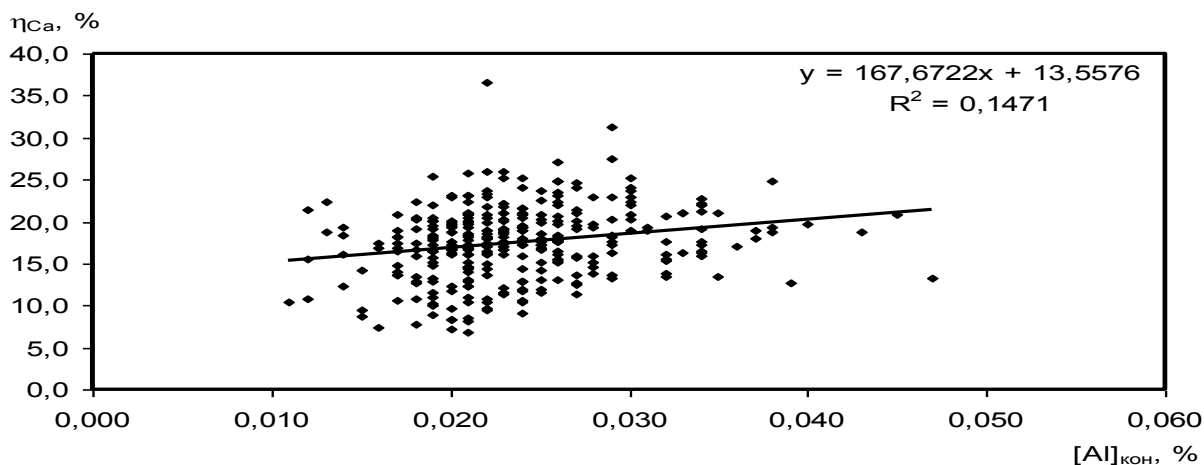


Рис. 1 Зависимость коэффициента усвоения кальция η_{Ca} от конечной концентрации растворенного алюминия $[Al]$

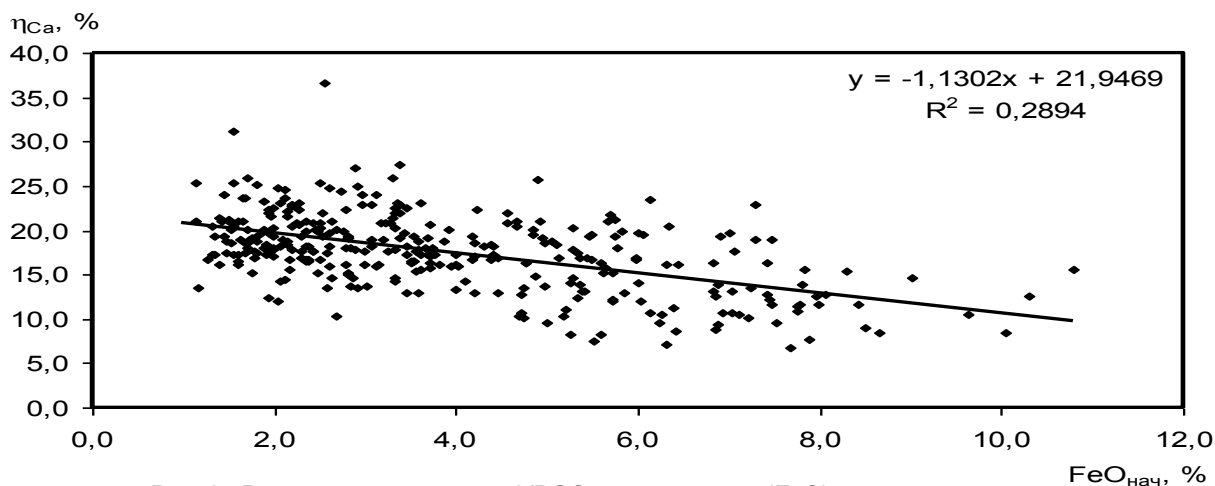


Рис. 2 Влияние начальной на УВОС концентрации $(FeO)_{нач}$ в шлаке на коэффициент усвоения кальция η_{Ca}

Такие же условия, как при вводе кальция, необходимы для удаления серы из металла. Поэтому раскисление шлака и металла в ковше способствует как повышению эффективности процесса десульфурации, так и ввода кальция в металл с порошковой проволокой. Высокая эффективность ввода кальция достигается при раскислении шлака до концентраций (FeO) менее 2,0 % и металла до концентраций алюминия более 0,015 %. Реализация этих условий позволяет стабилизировать и повысить коэффициент усвоения кальция в среднем до 20 % и выше и соответственно снизить расход порошковой проволоки с силикокальцием примерно на 15 – 20 %.

Из сравнения величины η_{Ca} для разных марок стали следует, что эффективность обработки кальцием возрастает с увеличением раскисленности металла в направлении 08сп→3сп→5сп→18Г2С. В основном это связано с

разным окислительным потенциалом шлака, сформированным за время выпуска, который, в свою очередь, зависит от раскисленности металла – содержания углерода и легирующих элементов.

Концентрация кальция в металле, достигнутая при вводе на УВОС, в дальнейшем снижается до значений на разливке 0,0011 – 0,0027 %. Концентрация кальция на разливке $[Ca]^{МНЛЗ}$ (маркировочная проба) и изменение концентрации кальция от УВОС до МНЛЗ $\Delta[Ca] = [Ca]^{УВОС} - [Ca]^{МНЛЗ}$ определяются исходной концентрацией $[Ca]^{УВОС}$ (рисунки 3 и 4):

$$[Ca]^{МНЛЗ} = 0,3152 * [Ca]^{УВОС} + 0,0006, R^2 = 0,3719, \quad (6)$$

$$\Delta[Ca] = 0,6848 * [Ca]^{УВОС} - 0,0006, R^2 = 0,7366. \quad (7)$$

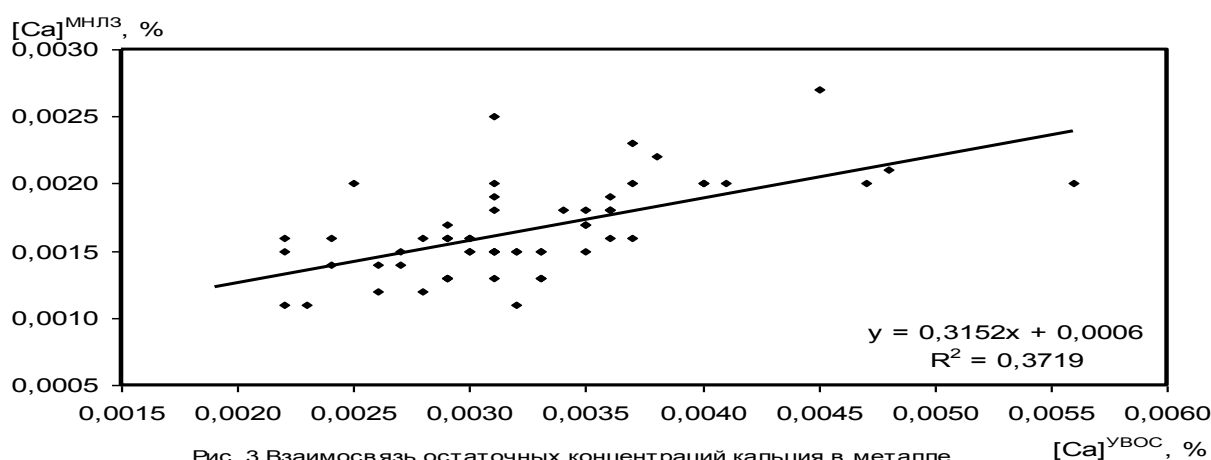


Рис. 3 Взаимосвязь остаточных концентраций кальция в металле на МНЛЗ и УВОС

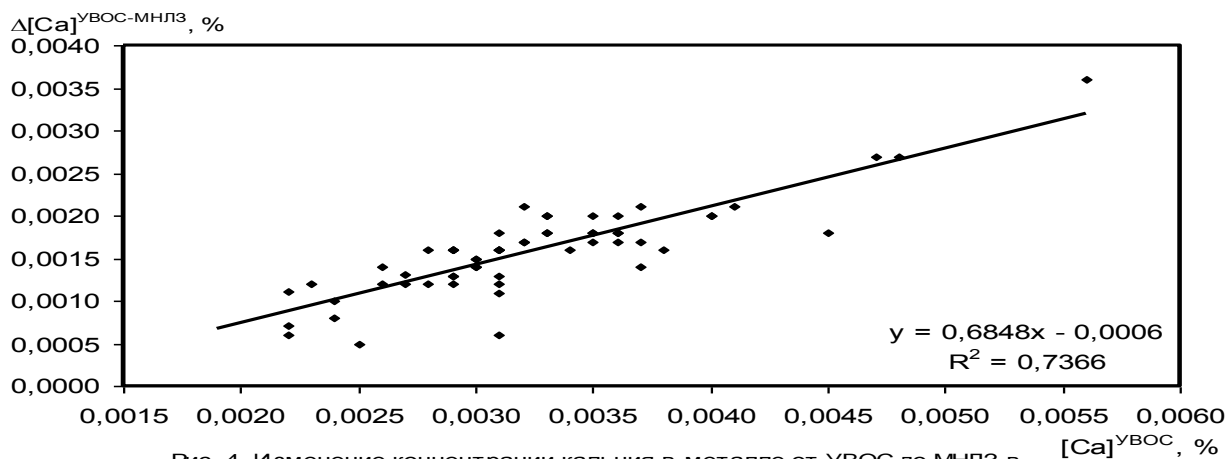


Рис. 4 Изменение концентрации кальция в металле от УВОС до МНЛЗ в зависимости от концентрации кальция на УВОС

Сквозное усвоение кальция $\eta_{Ca}^{СКВ}$ ниже, чем после ввода на УВОС, и составляет 5,5 – 16,6 % при среднем значении 9,2 %. Отношение $[Ca]^{МНЛЗ} / [Al]_{общ}$ на разливке также ниже и составляет в среднем 0,082 при колебаниях 0,046 – 0,126.

Снижение концентрации кальция на разливке связано с всплыванием

из металла в шлак образующихся при модифицировании неметаллических включений, в основном жидких алюминатов с высоким содержанием кальция, за время транспортировки от УВОС до МНЛЗ, выдержки металла и разливки. В металле, как правило, остаются включения с низким содержанием кальция ($\text{CaO} \times 6\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO} \times 2\text{Al}_2\text{O}_3$) которые находятся в твердом состоянии и практически не удаляются из него.

Таким образом, показано, что на эффективность ввода кальция в основном влияет окисленность шлака и металла. Раскисление шлака до концентраций (FeO) менее 2,0 % и металла до концентраций алюминия более 0,015 % позволяет стабилизировать и повысить коэффициент усвоения кальция в среднем до 20 % и выше и соответственно снизить расход порошковой проволоки примерно на 15 – 20 %.

УДК 667.187

ВЛИЯНИЕ КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКА, ПОПАДАЮЩЕГО В КОВШ НА ВЫПУСКЕ, НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОВШЕВЫХ ПРОЦЕССОВ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ И МОДИФИЦИРОВАНИЯ

Носов Ю.Н., Мусохранов В.В.

*Западно-Сибирский металлургический комбинат
г. Новокузнецк*

Одним из основных направлений эффективной подготовки металла к разливке на МНЛЗ и получения качественной литой заготовки является отсечка окислительного шлака на выпуске из конвертера. При отсутствии отсечки неконтролируемое количество конвертерного шлака попадает в ковш, что в значительной мере влияет на химический состав образующегося ковшевого шлака. В таблице 1 приведен химический состав конвертерного и ковшевых шлаков по 321 плавке, разлитых на сортовой МНЛЗ (сталь марок 3сп, 5сп, 08сп, 18Г2С). Плавки производились с выпуском металла в ковш без отсечки конвертерного шлака.

Ковшевые шлаки характеризуются значительным колебанием химического состава и отличаются от рекомендованного фирмой Danieli оптимального состава шлаков для внепечной обработки металла, раскисленного кремнием и алюминием: 56 – 62 % CaO, 6 – 10 % SiO₂, 20 – 25 % Al₂O₃, ≤ 1,0 – 1,5 % (FeO+MnO+Cr₂O₃), 6 % MgO, 0,3 – 2,0 % S, основность 5 – 6. Нестабильность химического состава ковшевых шлаков в основном зависит от количества и окисленности конвертерного шлака, попадающего в ковш на выпуске. При этом содержание FeO_{нач} в шлаке после выпуска, как показатель количества конвертерного шлака, попадающего в ковш, определяет степень его окисленности и в дальнейшем контролирует процессы десульфурации и модифицирования стали.

Таблица 1 – Химический состав шлаков по данным 321 плавки (3сп, 5сп, 08сп, 18Г2С)

Момент отбора пробы	Состав шлаков, %							
	CaO	SiO ₂	FeO	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S
Конвертер	<u>30,50-55,30</u> 46,90	<u>11,52-22,81</u> 17,34	<u>11,87-43,56</u> 21,31	<u>3,82-7,39</u> 5,58	<u>2,48-20,00</u> 5,27	<u>1,45-5,52</u> 2,25	<u>1,00-2,00</u> 1,41	<u>0,05-0,11</u> 0,08
Начало обработки на УВОС	<u>33,30-62,10</u> 52,74	<u>8,72-26,95</u> 15,53	<u>0,77-18,00</u> 5,07	<u>0,24-5,62</u> 2,19	<u>1,71-13,00</u> 5,36	<u>8,27-34,29</u> 20,39	<u>0,02-1,20</u> 0,33	<u>0,02-0,85</u> 0,29
Конец обработки на УВОС	<u>30,59-63,90</u> 52,83	<u>8,25-39,49</u> 16,45	<u>0,62-7,40</u> 1,88	<u>0,18-3,63</u> 0,88	<u>2,82-16,95</u> 6,59	<u>9,86-38,90</u> 22,95	<u>0,02-0,91</u> 0,09	<u>0,10-0,85</u> 0,39

Количество конвертерного шлака, попадающего в ковш на выпуске, рассчитали по балансу алюминия с учетом химического става конвертерного и ковшевого шлака, расхода шлакообразующих, прихода оксидов из огнеупорной футеровки ковша и угара ферросплавов. Согласно расчетам, в ковш попадает примерно от 0,5 до 5,0 т и более конвертерного шлака. Общее количество шлака в ковше может достигать 8 – 10 т. Взаимосвязь между $FeO_{нач}$ в ковшевом шлаке после выпуска и расчетным количеством конвертерного шлака $Q_{шл}$ (кг), попадающего в ковш на выпуске, описывается уравнением (рисунок 1):

$$Q_{шл} = 299,54 \times FeO_{нач} + 440,02, R^2 = 0,3781. \quad (1)$$

Содержание $FeO_{нач}$ в начале обработки, несмотря на последующее раскисление шлака гранулированным алюминием, в значительной мере определяет его содержание в конце внепечной обработки $FeO_{кон}$ (рисунок 2):

$$FeO_{кон} = 0,1476 \times FeO_{нач} + 1,1283, R^2 = 0,2801. \quad (2)$$

В основном (93,8 % плавов) ковшевой шлак после выпуска имеет содержание FeO менее 10 %, 56,1 % плавов – до 5 % и 15,3 % плавов – до 2,0 %. В шлаке конца обработки на УВОС 90,4 % плавов имеет содержание FeO до 3 %, 69,2 % плавов – до 2,0 % и 7,8 % плавов – до 1,0 %.

Повышенное содержание $FeO_{нач}$ ухудшает процесс десульфурации при внепечной обработке, снижая в среднем степень десульфурации η_s с 30 % при $FeO_{нач} = 1,0$ % до 18 % при $FeO_{нач} = 10,0$ % (рисунок 3):

$$\eta_s = -1,3884 \times FeO_{нач} + 32,369, R^2 = 0,0380. \quad (3)$$

С повышением окисленности шлака после выпуска $FeO_{нач}$ резко снижается коэффициент усвоения кальция η_{Ca} и, соответственно, эффективность модифицирования стали порошковой проволокой с силикокальцием (рисунок 4):

$$\eta_{Ca} = -0,7158 \times FeO_{нач} + 17,5930, R^2 = 0,1828. \quad (4)$$

Усвоение кальция с возрастанием FeO с 1,5 % до 10,0 % снижается с 15 – 18 % до 8 – 9 %, что приводит к повышенному расходу силикокальция и порошковой проволоки.

Таким образом, конвертерный шлак, попадающий в ковш на выпуске, через повышение окисленности ковшевого шлака снижает эффективность рафинировочных процессов десульфурации и модифицирования стали.

Расчеты показали, что при внедрении системы отсечки шлака на выпуске из конвертера возможно снизить суммарный расход алюминия на раскисление металла и шлака – до 0,35 кг/т, порошковой проволоки с силикокальцием – до 0,2 кг/т, ферросилиция и силикомарганца – 0,05 – 0,15 кг/т.

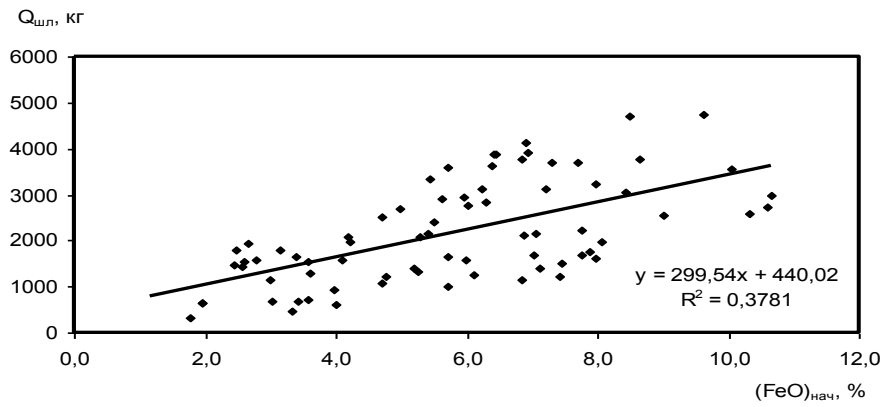


Рис.1 Взаимосвязь FeO первого ковшевого шлака и массы конвертерного шлака $Q_{\text{шл}}$, попавшего в ковш на выпуске

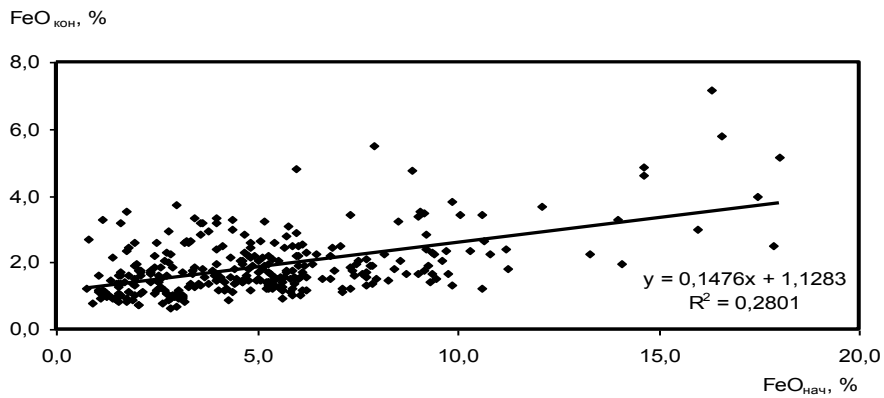


Рис.2 Взаимосвязь концентрации FeO в начале и конце обработки на УВОС

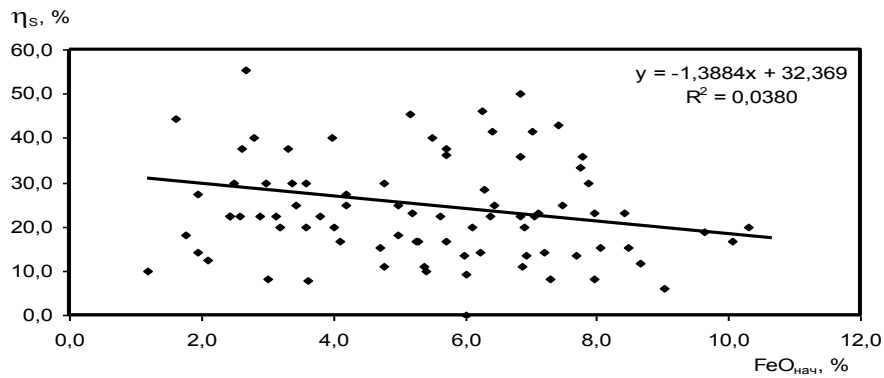


Рис.3 Влияние $\text{FeO}_{\text{нач}}$ на степень десульфурации η_s на УВОС

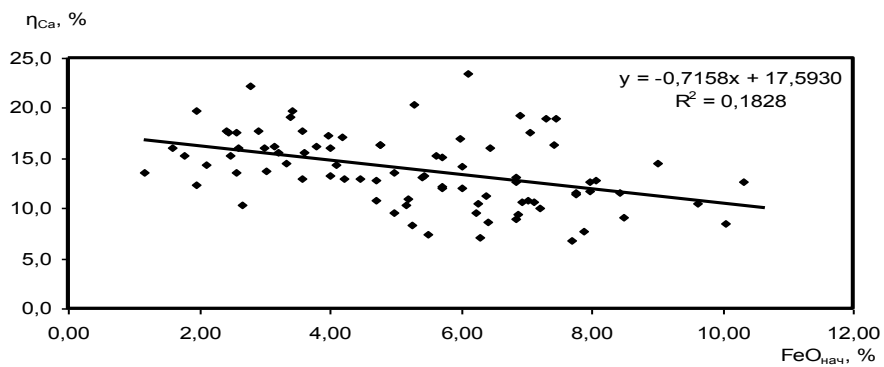


Рис.4 Влияние $\text{FeO}_{\text{нач}}$ на коэффициент усвоения кальция η_{Ca}

ПРОДУВКА МЕТАЛЛА АЗОТОМ В 350-Т СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ

Носов Ю.Н., Мусохранов В.В.

*Западно-Сибирский металлургический комбинат
г. Новокузнецк*

В ККЦ-2 ОАО «ЗСМК» проведено исследование с целью определения возможности продувки металла в 350-т сталеразливочном ковше азотом вместо аргона для снижения затрат на производство стали. Плавки стали 3сп и 5сп проводились по технологической цепи конвертер – УВОС – сортовая МНЛЗ с продувкой металла на УВОС азотом с целью перемешивания при следующих вариантах ввода:

I – одна погружная фурма;

II – одна и две погружные фуры;

III – одна, две погружные фуры и две донные фуры.

Результаты продувки металла азотом (10 плавок) приведены в таблице 1.

При расходе азота от 3,46 до 19,70 нм³ и длительности продувки от 4,68 до 38,50 мин. концентрация азота в металле увеличилась на 0,0003÷0,0022 %. Связь между приростом концентрации азота в металле $\Delta[N]$ и расходом азота Q_{N_2} описывается следующим уравнением:

$$\Delta[N] = 9 \times 10^{-5} \times Q_{N_2} + 0,0005, R^2 = 0,3566 \quad (1)$$

На проведенных плавках влияние варианта ввода азота на прирост его концентрации в металле не установлено.

Полученное уравнение (1) определяет суммарный прирост концентрации азота в металле $\Delta[N]$ при одновременно двух протекающих процессах – поглощения азота металлом из продувочного газа – азота $\Delta[N]_{N_2}$ и из воздуха при вторичном окислении через свободную от шлака поверхность металла в ковше $\Delta[N]_{в.о.}$ (малое количество шлака, гетерогенный шлак, интенсивная продувка и т.д.). На основе полученных результатов проведена оценка поглощения азота для каждого процесса, что позволяет разработать математическую модель поглощения азота для данных условий на основе эмпирических коэффициентов и прогнозировать его прирост в металле в зависимости от вида продувочного газа (аргон, азот), его расхода и длительности продувки.

Для построения модели дополнительно использовали результаты продувки металла аргоном на 60 плавках стали марок 3сп и 5сп (таблица 1).

При разработке модели сделаны следующие допущения:

– При чистоте вдуваемого в металл аргона 99,9 % прирост содержания азота в металле $\Delta[N]_{в.о.}$ при продувке аргоном происходит из атмосферы за счет вторичного окисления через свободную от шлака поверхность металла в

ковше. Поглощение азота определяется длительностью продувки.

– Прирост содержания азота в металле при продувке азотом происходит как за счет поглощения из продувочного газа – азота $\Delta[N]_{N_2}$, так и за счет поглощения из атмосферы через свободную от шлака поверхность металла в ковше $\Delta[N]_{в.о.}$. Поглощение азота из продувочного газа – азота определяется расходом азота на продувку, поглощение из атмосферы – длительностью продувки.

– Поглощение азота из продувочного газа – азота не зависит от способа его ввода.

Таблица 1 – Результаты продувки стали марок 3сп и 5сп азотом (опытные плавки) и аргоном (сравнительные плавки)

Усл. № плавки	Вариант ввода N_2	Суммарный расход азота, $нм^3$	Длительность продувки, мин	Концентрация азота на УВОС, %			Поглощение азота	
				начало	конец	$\Delta[N]$	из 1 $нм^3 \times 10^{-5}$, %	за 1 мин. продувки $N_2, \times 10^{-5}$ %
Продувка азотом (10 плавок)								
1	I	9,70	13,15	0,0053	0,0062	0,0009	9,3	6,8
2	II	5,64	11,37	0,0045	0,0050	0,0005	8,9	4,4
3	II	10,23	17,88	0,0035	0,0055	0,0020	19,6	11,2
4	III	19,70	38,50	0,0042	0,0064	0,0022	11,2	5,7
5	II	14,65	18,42	0,0046	0,0065	0,0019	13,0	10,3
6	I	8,88	10,50	0,0038	0,0058	0,0020	22,5	19,0
7	II	8,89	8,10	0,0032	0,0052	0,0020	22,5	24,7
8	III	14,40	10,23	0,0047	0,0059	0,0012	8,33	11,7
9	II	7,43	10,57	0,0046	0,0049	0,0003	4,0	2,8
10	I	3,46	4,68	0,0059	0,0068	0,0009	26,0	19,2
min		3,46	4,68	0,0032	0,0049	0,0003	4,0	2,8
средн		10,30	14,33	0,0044	0,0058	0,0014	14,5	11,6
max		19,70	38,50	0,0059	0,0068	0,0022	26,0	24,7
Продувка аргоном (60 плавок)								
min		7,32	11,00	0,0020	0,0030	0	-	-
средн		29,72	35,25	0,0039	0,0046	0,0007	2,1	1,8
max		69,03	81,50	0,0050	0,0060	0,0020	-	-

В качестве эмпирических коэффициентов модели приняли удельный прирост концентрации азота при вдувании в металл 1 $нм^3$ азота и за 1 мин. продувки аргоном.

Удельный прирост концентрации азота при продувке аргоном составил $1,8 \times 10^{-5}$ % за 1 мин, что при принятой модели характеризует скорость поглощения азота из атмосферы через свободную от шлака поверхность металла в ковше. При длительности продувки $\tau_{прод.}$ поглощение азота металлом

из атмосферы при вторичном окислении составит $\Delta[N]_{\text{В.О.}} = 1,8 \times 10^{-5} \times \tau_{\text{прод.}}$.

При вдувании 1 м^3 азота увеличение его концентрации в металле на $14,5 \times 10^{-5} \%$ характеризует суммарный удельный прирост азота за счет поглощения из продувочного газа – азота и поглощения азота из атмосферы при вторичном окислении. Удельный прирост азота только из продувочного газа – азота определится как $14,5 \times 10^{-5} - 2,1 \times 10^{-5} = 12,4 \times 10^{-5} \%$, общий прирост азота из продувочного газа – азота при его расходе Q_{N_2} составит $\Delta[N]_{\text{N}_2} = 12,4 \times 10^{-5} \times Q_{\text{N}_2}$.

В целом, уравнение, описывающее суммарный процесс поглощения азота металлом на УВОС, имеет вид

$$\begin{aligned} \Delta[N] &= \Delta[N]_{\text{N}_2} + \Delta[N]_{\text{В.О.}} = 12,4 \cdot 10^{-5} Q_{\text{N}_2} + 1,8 \cdot 10^{-5} \tau_{\text{прод}} = \\ &= (12,4 Q_{\text{N}_2} + 1,8 \tau_{\text{прод}}) \cdot 10^{-5}. \end{aligned} \quad (2)$$

При $\tau_{\text{прод}} = 0$ по уравнению (2) можно оценить поглощение азота из продувочного газа – азота, при $Q_{\text{N}_2} = 0$ – при вторичном окислении из атмосферы через открытую от шлака поверхность металла в ковше.

Проведено сопоставление расчетного $\Delta[N]_{\text{расч}}$ по уравнению (2) и фактического $\Delta[N]_{\text{факт}}$ (таблица 1) прироста концентрации азота на плавках с продувкой азотом. Фактическое и расчетное значения прироста содержания азота по модулю отличаются от 0,0002 до 0,0009 %, что находится в пределах точности определения содержания азота (при концентрации азота менее 0,005 % точность анализа на азот $\pm 0,0012 \%$, при концентрации 0,005 – 0,010 % – точность анализа $\pm 0,0017 \%$).

Результаты расчетов показывают, что примерно 15 % азота поглощается металлом при вторичном окислении через свободную от шлака поверхность металла и примерно 85 % – из газообразного азота, вдуваемого в металл с целью перемешивания.

Проведена оценка величины коэффициента усвоения азота из газообразного азота. При вводе в металл 1 м^3 азота (1,251 кг) при средней массе плавки 308 т концентрация азота при 100 % усвоении увеличится на $40,61 \cdot 10^{-5} \%$. При фактическом усвоении $12,4 \cdot 10^{-5} \%$ коэффициент усвоения азота из газообразного азота составит 30,53 %. Таким образом, при вдувании газообразного азота в металл (погружные и донные фурмы) за время всплывания пузырьков с глубины 3,0 – 4,0 м в 350-т ковше примерно 30 % азота растворяется в металле.

Полученное уравнение (2) достаточно условно, так как развитие процесса вторичного окисления зависит от величины свободной от шлака поверхности металла в ковше, которая в свою очередь, зависит от количества, химического состава и физического состояния шлака, интенсивности и способа продувки газом и т.д., т.е. от факторов, которые изменяются от плавки к плавке. Однако модель позволяет сделать прогноз поглощения азота в зависимости от расхода и длительности продувки газообразным азотом для конкретных условий обработки металла в 350-т ковшах ККЦ-2. При длительно-

сти обработки металла на УВОС от 30 до 50 мин прогноз повышения содержания азота в металле составляет от 0,002 – 0,003 до 0,003 – 0,005 %. С учетом суммарного повышения концентрации азота на технологических этапах: конвертер, выпуск, УВОС-МНЛЗ – 0,005 – 0,006 %, продувка азотом на УВОС приведет к возрастанию концентрации азота в готовом металле до 0,008 – 0,011 %, что не гарантирует попадание в требуемое по ГОСТ 380-2005 содержание азота $\leq 0,008$ % для СтЗсп и $\leq 0,010$ % для Ст5сп, разливаемых на сортовой МНЛЗ.

УДК 669.187

ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ 20Ю С РАЗЛИВКОЙ НА СОРТОВОЙ МНЛЗ

Носов Ю.Н., Фойгт Д.Б., Сидорова И.Н.

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

На ОАО «ЗСМК» разработана и освоена технология производства непрерывнолитых заготовок сечением 150×150 мм из низкокремнистой стали с регламентированным содержанием алюминия 20Ю. В настоящее время в России отсутствует опыт производства литых сортовых заготовок из листовой стали типа «Ю». Отечественный отраслевой опыт, в том числе на ЗСМК, базируется на производстве литой заготовки из таких сталей только на слябовых МНЛЗ.

В связи со спросом регионов Юго-Восточной Азии на литые сортовые заготовки из стали типа «Ю» на ЗСМК разработана комплексная программа по освоению производства таких заготовок из стали 20Ю на сортовой МНЛЗ.

Выплавка, внепечная обработка и разливка на сортовой МНЛЗ стали 20Ю имеют свои особенности и отличия от разливаемых в настоящее время закрытой струей сталей, раскисленных кремнием (не менее 0,10 %) и алюминием (не менее 0,015 %). Сталь 20Ю характеризуется низкими массовыми долями кремния (до 0,03 %), цветных металлов (до 0,06 – 0,10 % Cr, Ni, Cu – каждого) и регламентированной – алюминия (0,02 – 0,06 %). Низкое содержание цветных металлов требует применения подготовленного металлического лома (оборотный лом от 50 до 100 %, в том числе обрезь МНЛЗ и прокатных цехов) и/или повышенного расхода жидкого чугуна. Низкое содержание кремния обуславливает применение низкокремнистых ферросплавов, в частности металлического марганца, использование для раскисления первичного алюминия или вторичного с содержанием алюминия не менее 97 %, шлакообразующих материалов с минимальными содержанием SiO₂, ограничение по глубине раскисления ковшевого шлака алюминием вследствие возможного восстановления кремния, и отсечку конвертерного шлака на выпус-

ке металла в сталеразливочный ковш.

Одним из основных моментов производства сортовых непрерывнолитых заготовок из низкокремнистой стали является обеспечение ее разливаемости на МНЛЗ. Если на слябовой МНЛЗ сталь разливается через погружные стаканы большого сечения (\varnothing 70 – 80 мм) без предварительного модифицирования кальцием, то на сортовой МНЛЗ разливка раскисленной кремнием и алюминием стали ведется через погружные стаканы малого сечения (\varnothing 36 мм), что требует для предотвращения затягивания сталепроводки включениями Al_2O_3 предварительного модифицирования силикокальцием. Для модифицирования низкокремнистой стали необходимо применение металлического кальция или его смесей/сплавов с алюминием или железом – алюмокальция, феррокальция.

На основании анализа особенностей производства сортовых непрерывнолитых заготовок из низкокремнистой стали разработаны комплексные технические и технологические мероприятия, предусматривающие приобретение необходимых материалов, в том числе и для разливки (стартовая засыпка, стаканы-дозаторы и погружные стаканы с антиклокинговым покрытием, корундографитовые защитные трубы с уплотняющими огнеупорными вставками и/или с подачей аргона), изготовление порошковой проволоки диаметром 10 мм с алюмокальцием (90 % Ca, 10 % Al), использование агрегата ковш-печь (АКП), значительно расширяющее возможности технологии и др.

Отдельные элементы технологии (в том числе ввод в металл порошковой проволоки диаметром 10 мм с алюмокальцием) обрабатывались на стали обычного сортамента сортовой МНЛЗ, раскисленной кремнием и алюминием, а также предварительно была опробована вся комплексная технология выплавки и внепечной обработки низкокремнистой стали, но с разливкой ее в изложницы.

В 350-тонных конвертерах ККЦ-2 выплавлена опытная партия плавок стали 20Ю и разлита на 8-ручьева сортовой МНЛЗ (два промежуточных ковша по четыре ручья каждый). Производство заготовок осуществляли в технологической цепи конвертер-УВОС-АКП-МНЛЗ. При выплавке стали использовался чугуны с температурой 1344 – 1421 °С следующего состава: 0,45 – 0,88 % Si, 0,36 – 0,45 % Mn, 0,011 – 0,022 % S, 0,071 – 0,090 % P. Расход чугуна на плавку составлял в среднем 911 кг/т (844 – 989 кг/т). Из конвертера металл выпускали в ковш с температурой 1645 – 1684 °С и содержанием 0,03 – 0,05 % C, 0,08 – 0,13 % Mn, 0,017 – 0,025 % S, 0,008 – 0,015 % P. Конвертерный шлак на выпуске отсекали системой фирмы «МОНОКОН» с помощью «плавающего» дробника, который вводится в сталевыпускное отверстие через горловину конвертера выдвижным манипулятором.

На выпуске для наведения шлака присаживали известь (7,1 – 10,8 кг/т) и плавиковый шпат (1,3 – 2,7 кг/т), для раскисления металла – чушковый алюминий (0,9 – 2,0 кг/т) и порошковую проволоку диаметром 14,5 мм с алюмокальцием (1,3 – 3,2 кг/т), для науглероживания – теплоизоляционную

засыпку ТИЗ (1,4 – 1,9 кг/т), для легирования марганцем – металлический марганец (8,1÷9,2 кг/т).

После выпуска металл предварительно обрабатывали на УВОС (установка внепечной обработки стали). Шлак раскисляли гранулированным алюминием (0,3 – 0,5 кг/т), на части плавов в металл вводили алюминиевую катанку (0,3 – 0,4 кг/т). В конце обработки на УВОС замеряли температуру металла (1572 – 1607 °С) и активность кислорода (2,4 – 27,9 ppm).

С УВОС плавки поступали на АКП, где проводили нагрев металла, наведение жидкоподвижного раскисленного шлака, доводку по температуре и составу, легирование алюминием и модифицирование кальцием. Для обеспечения необходимого слоя шлака в ковше (150 – 170 мм) с целью экранизации его футеровки от теплоизлучения электрических дуг дополнительно присаживали известь (0,4 – 6,1 кг/т) и плавиковый шпат (0,8 – 1,8 кг/т). Шлак по ходу обработки раскисляли чушковым алюминием (0,5 – 1,2 кг/т), науглероживание металла проводили коксиком (0,4 – 1,9 кг/т), на части плавов дополнительно – порошковой проволокой с коксиком (0,9 – 3,3 кг/т). Химический состав металла и шлака по ходу плавов приведен в таблицах 1 и 2.

Самой длительной на АКП была операция по вводу порошковой проволоки диам. 10 мм с алюмокальцием (1,1 – 1,5 кг/т). Вследствие значительного пироэффекта скорость ее ввода ограничивали до 80 – 150 м/мин, что потребовало для введения 2000 – 2300 м проволоки 20 – 26 мин. Концентрация кальция после ввода проволоки 0,0027 – 0,0035 % при содержании общего алюминия 0,022 – 0,034 % обеспечила получение отношения $Ca/Al_{\text{общ}}$ в пределах 0,08 – 0,11.

Опытные плавки характеризовались высокой степенью десульфурации. Так, после выпуска металла в ковш концентрация серы составила 0,012 – 0,027 %, при выдаче с АКП – 0,005 – 0,014 % и в готовой стали – 0,005 – 0,012 % (на 80 % плавов – 0,005 – 0,006 %). Степень десульфурации на АКП была 58 – 82 %, коэффициент распределения серы шлак/металл – 82 – 164. Высокая степень десульфурации была достигнута за счет глубокого раскисления шлака (концентрация FeO в шлаке при выдаче с АКП – 1 – 2 %), низкой окисленности металла на АКП (2,5 – 4,1 ppm), длительной обработки на АКП (76 – 161 мин) и интенсивного перемешивания металла аргоном через донные фурмы.

При раскислении ковшевого шлака в металл за время внепечной обработки и за период разливки восстановилось 0,008 – 0,021 % кремния. Однако в готовой стали концентрация кремния на всех плавках находилась в требуемых пределах. Прирост содержания фосфора за счет восстановления из шлака изменялся от 0 до 0,010 % и в среднем составил 0,003 %. Концентрация азота в металле изменялась от 0,0040 – 0,0051 % после выпуска до 0,0050 – 0,0073 % на АКП и 0,0058 – 0,0089 % в готовой стали на МНЛЗ (требуемое содержание азота в стали 20Ю – не более 0,010 %). Прирост содержания азота в стали при обработке на АКП составил 0,0010 – 0,0029 %, что связано с ее длительностью, при разливке на МНЛЗ – 0 – 0,0020 % (в

среднем 0,0007 %).

Сквозное усвоение элементов, включая разливку, составило: углерода – 52 – 64 %, марганца – 88 – 93 %, алюминия – 6,0 – 8,6 %, кальция – 1,3 – 3,2 % (в том числе усвоение кальция на АКП из проволоки с алюмокальцием было 7,4 – 13,3 % при среднем значении – 10,7 %).

Химический состав готовой стали всех опытных плавков соответствовал техническим условиям на сталь 20Ю и требованиям потребителя.

Опытные плавки стали 20Ю разливали на сортовой МНЛЗ по разработанным режимам температурному, температурно-скоростному и вторичного охлаждения слитка. Защиту струи на участке сталеразливочный ковш - промежуточные ковши осуществляли с помощью защитных труб с подачей аргона, на участке промежуточные ковши – кристаллизаторы – с помощью погружных стаканов со специальным уплотнением. Температура металла в промежуточных ковшах была установлена 1545 – 1555 °С или $T_{\text{ликв}} + (35 - 40 \text{ } ^\circ\text{C})$, т.е. выше обычного уровня на 5 градусов. В зависимости от температуры стали в промежуточных ковшах средняя скорость литья плавков изменялась в пределах 2,0 – 2,5 м/мин, максимальная составляла 2,8 м/мин. Теплотери металла в промежуточных ковшах за время разливки одной плавки в среднем составили 13,4 °С (0,13 °С/мин). Достигнутые при модифицировании металла на АКП отношения $\text{Ca}/\text{Al}_{\text{общ}}$ в пределах 0,08 – 0,11 обеспечили нормальную разливаемость стали 20Ю без затягивания сталепроводки на сортовой МНЛЗ.

Используемые в настоящее время в промежуточных ковшах сортовой МНЛЗ собственные шлакообразующие смеси (ШОС) обеспечивают разливку стали типа «Ю» без загущения шлака и потери его рафинирующей способности короткими сериями (до 4 – 8 плавков) ввиду невозможности скачивания шлака. При более длительных сериях требуется корректировка составов ШОС.

При разливке стали 20Ю использовали кристаллизаторы со стойкостью гильз до 12 тыс. т разлитой через них стали, при приближении к которой проводилась замена кристаллизаторов. Использование гильз с такой стойкостью не привело к увеличению ромбичности (разности диагоналей) заготовок и получению других дефектов.

Качество поверхности полученных заготовок были удовлетворительным, незначительной зачистке было подвергнуто минимальное (4,9 %) количество заготовок.

Результаты изучения макроструктуры показали, что сортовые заготовки стали 20Ю имеют низкое развитие внутренних дефектов, не превышающее 2,5 балла по шкалам ОСТ 14-1-235-91 (таблица 3), при этом более 80 % темплетов имели не более 1,5 балла по центральной пористости (при среднем – 1,0), более 75 % – не более 1,0 балла (среднее 0,92) по осевой химической неоднородности, 75 % – 0 (0,25) по ликвационным полоскам и трещинам всех видов, 100 % – 0 по светлому контуру и краевым точечным загрязнениям.

Таблица 1 – Химический состав стали 20Ю на этапах производства

Период плавки	Химический состав стали, %									
	C	Si	Mn	S	P	N	Al _{общ.}	Al _{раств.}	Ca	Ca/ Al _{общ.}
УВОС	<u>0,11÷0,17</u> 0,133	<u>0,006÷0,022</u> 0,012	<u>0,70÷0,91</u> 0,82	<u>0,012÷0,027</u> 0,022	<u>0,007÷0,011</u> 0,009	<u>0,0040÷0,0051</u> 0,0045	<u>0,004÷0,036</u> 0,025	<u>0,004÷0,034</u> 0,022	Менее 0,0004	–
АКП	<u>0,20÷0,24</u> 0,208	<u>0,010÷0,030</u> 0,019	<u>0,86÷0,92</u> 0,89	<u>0,005÷0,014</u> 0,007	<u>0,007÷0,018</u> 0,012	<u>0,0050÷0,0073</u> 0,0063	<u>0,022÷0,034</u> 0,030	<u>0,026÷0,032</u> 0,029	<u>0,0027÷0,0035</u> 0,0031	<u>0,077÷0,107</u> 0,096
Готовая сталь	<u>0,20÷0,23</u> 0,211	<u>0,014÷0,030</u> 0,024	<u>0,83÷0,87</u> 0,85	<u>0,005÷0,012</u> 0,007	<u>0,007÷0,014</u> 0,011	<u>0,0058÷0,0089</u> 0,0070	<u>0,021÷0,026</u> 0,024	<u>0,020÷0,024</u> 0,022	<u>0,0010÷0,0017</u> 0,0014	–

Таблица 2 – Химический состав шлака на УВОС и АКП

Период плавки	Химический состав шлака, %									
	CaO	SiO ₂	FeO	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S	CaF ₂	Основность
УВОС	<u>47,7÷57,4</u> 50,9	<u>9,1÷12,6</u> 10,7	<u>2,6÷17,2</u> 7,0	<u>4,1÷6,4</u> 5,3	<u>3,8÷9,0</u> 7,1	<u>11,8÷23,5</u> 19,7	<u>0,08÷0,77</u> 0,29	<u>0,15÷0,25</u> 0,22	<u>1,4÷5,1</u> 3,2	<u>3,9÷6,3</u> 4,8
АКП	<u>53,1÷56,7</u> 55,2	<u>8,7÷9,5</u> 9,2	<u>1,0÷2,0</u> 1,6	<u>0,4÷1,0</u> 0,6	<u>6,7÷8,4</u> 7,9	<u>24,1÷27,1</u> 25,4	<u>0,02÷0,12</u> 0,05	<u>0,42÷0,83</u> 0,64	<u>0,9÷5,4</u> 3,3	<u>5,9÷6,1</u> 6,0

Таблица 3 – Качество макроструктуры сортовых заготовок стали 20Ю

Дефект макроструктуры	Доля заготовок с баллами дефектов макроструктуры по шкалам ОСТ 14-1-235-91, %						
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Центральная пористость (ЦП)	16,7	33,3	8,3	25,0	8,3	8,3	-
Осевая химическая неоднородность (ОХН)	8,3	25,0	41,7	25,0	-	-	-
Ликвационные полосы и трещины (ЛПТ) всех видов	75,0	16,7	-	-	8,3	-	-
Светлый контур (СК)	100,0	-	-	-	-	-	-
Краевые точечные загрязнения (КТЗ)	100,0	-	-	-	-	-	-

Таким образом, в ККЦ-2 ОАО «ЗСМК» освоено производство длинномерной сортовой непрерывнолитой продукции (заготовок сечением 150×150 мм) из низкокремнистой стали с регламентированным содержанием алюминия 20Ю. Разработанные комплексные технические и технологические мероприятия обеспечили стабильную безаварийную работу сортовой МНЛЗ, получение химического состава и качества заготовок в соответствии с требованиями потребителя.

УДК 539.374:539.388.25:669-412

ОСОБЕННОСТИ ОСАДКИ И ПРОТЯЖКИ КУЗНЕЧНЫХ СЛИТКОВ

Почетуа В.В., Почетуа В.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Ковка слитков относится к трудоемким технологическим процессам обработки металлов давлением и использует самое большое и мощное оборудование и соответственно самые крупные поковки – массой от нескольких десятков килограммов до сотен тонн. Известно, что с увеличением массы слитка растет неоднородность структуры и свойств металла по телу слитка, что снижает в целом качество исходного металла. Однако, развитие машиностроения требует дальнейшего улучшения качества деталей крупных машин, полученных свободной ковкой, при одновременном снижении экономических затрат для этих целей. Снижение расхода металла зависит от качества слитков, их конфигурации и уменьшения технологических отходов.

Для устранения неоднородности исходного металла используют увеличение конусности тела слитка и уменьшения его относительной высоты, что в свою очередь ведет к увеличению концевых отходов и затрудненной проработке осевых зон слитка.

Выбор оптимальных технологических приемовковки, операций и их последовательности также служат снижению материалоемкости, повышению качества металла и производительности.

Основными этапами (операциями) свободнойковки крупных кузнечных слитков являются биллетировка, осадка, протяжка и далее по технологической карте.

Рассмотрим особенности операций осадки и протяжки крупных кузнечных слитков на примере работы кузнечно-прессового цеха ОАО «РМЗ».

Технологическому переделу на прессовом участке в КПЦ ОАО «РМЗ» подвергались слитки массой 7 – 10 т, выплавленных в основном в литейном цехе.

На качество поковок, изготовленных из кузнечных слитков, оказывают влияние, как факторы металлургического характера, так и факторы, возни-

кающие в процессековки. Наиболее часто встречающиеся дефекты слитков - продольные и поперечные поверхностные трещины, неметаллические включения, усадочные раковины, пузыри, неоднородность строения слитка. В крупных кузнечных слитках наиболее опасны внутренние дефекты – осевая пористость и пустоты, во многих случаях предотвратить их образование трудно и невозможно.

На примере семи- и десятитонных слитков сталей 38ХНЗМА, 40Х,40 литейного цеха ОАО «РМЗ» мы исследовали качество металла до и после деформирования, а также технологиюковки. Слитки семи (Н/Д=2,21; Н – высота тела слитка, мм; Д – диаметр, мм) и десяти (Н/Д=1,44) тонные отливались из металла, выплавленного в электропечи ДСП – 25 с полным окислением.

Известно, что после осадки слитка в его средней части образуется бочкообразность с осевой рыхлостью, которая в дальнейшем может привести к образованию внутренних трещин и несплошностей. Для недопущения этого проводят после осадки обязательную протяжку.

Причем порядок протяжки после осадки существенно влияет на качество металла внутренних слоев металла слитка и, соответственно, на проработку (проковку) этих частей слитка и получение, по возможности, более менее однородной структуры металла и равномерных и более высоких механических характеристик.

Известны несколько способовковки осажённых слитков.

Первый способ – традиционный, который наиболее часто можно встретить на любом заводе. Он сводится к тому, что после осадки, слиток протягивают в размер без учета бочкообразности, места расположения подусадочной рыхлости и пористости. Это приводит к получению неоднородных механических свойств по телу слитка (длине и диаметру) ввиду своей изначальной неоднородности, которая после протяжки осажённого слитка улучшается, но полностью не исчезает.

Второй способ, защищенный авторским свидетельством, предполагает на первой стадииковки слитка осуществлять первичное деформирование средней части (примерно 1/3 длины) слитка со степенью деформирования 15 – 20 %. В данном случае улучшается однородность структуры и механических свойств внутренних слоев средней части слитка, но подприбыльная часть слитка прорабатывается, возможно, и при худших условиях, чем в предыдущем способе. В результате этого, в целом, механические и пластические свойства поковки снижаются.

Третий способ, разработанный нами на основе проведенных исследований, предлагает, что при протяжке осажённого слитка необходимо соблюдать режим опережающей деформации в направлении от прибыли к дну (средней части) слитка со смещением ее в сторону подприбыльной части на 2/3 длины очага деформирования, так как после каждого технологического прохода, слиток охлаждается на 50 – 100 °С, поэтому условия заваривания внутренних дефектов ухудшаются от прохода к проходу. Данный способ

обеспечивает проковку слитка при максимально возможной температуре нагрева данных зон за счет обработки не всей длины его, а только 2/3 части его длины на первом этапековки. После этого протягивается донная часть слитка, которая изначально имеет более высокую пластичность металла за счет лучших условий кристаллизации. Наши исследования показали, что при повышенных температурах (1240 – 1300 °С) и степени деформации, равной 20 – 35 %, происходит заваривание внутренних дефектов, хорошая проработка внутренних слоев тела слитка и получение, следовательно, однородной структуры по сечению и длине поковки.

Правомерность данных тезисов доказывается проведенными нами исследованиями на горячее скручивание сплошных цилиндрических образцов диаметром 6 мм и длиной рабочей части 30 мм в интервале температур 850 – 1300 °С, вырезанных из различных зон осажённых слитков. Эти исследования показали увеличение пластических свойств и однородности металла в подприбыльной и центральных зонах слитка и приближение их по свойствам к металлу донной части послековки по предложенным схемам.

Вывод. Одним из основных направлений обеспечения технологической эффективностиковки слитков после осадки следует считать создание режима опережающей деформации в направлении от прибыли к дну (средней части) слитка при максимально возможной температуре нагрева данных зон за счет обработки не всей длины его, а только 2/3 части его длины на первом этапековки. После этого протягивается донная часть слитка, которая изначально имеет более высокую пластичность металла за счет лучших условий кристаллизации.

УДК 669.18

К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВНЕШНЕЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ПРИ РАЗОГРЕВЕ ФУТЕРОВОК СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ*

ТЕМЛЯНЦЕВ М.В., МАТВЕЕВ М.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

В настоящее время ведущие российские и зарубежные стальпроизводящие предприятия практикуют высокотемпературный разогрев футеровок сталеразливочных ковшей (СРК) до температур 1200 – 1250 °С. При этом температуры расплава стали на выпуске из дуговой сталеплавильной печи или конвертера могут достигать 1650 – 1700 °С.

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

С целью снижения тепловых потерь через футеровку ковша в ней предусматривают теплоизоляционный слой, расположенный между кожухом и арматурным слоем кладки. Такую теплоизоляцию относят к типу внутренней. Для снижения тепловых потерь через футеровку агрегатов все большее распространение начинает получать внешняя теплоизоляция, которую могут монтировать к наружной поверхности кожуха. Наиболее перспективным видом внешней теплоизоляции можно считать пеноизоляцию или теплоизоляционную пену, наносимую методом торкретирования.

Применение внешней теплоизоляции для футеровок сталеразливочных ковшей имеет определенные ограничения. В частности в процессе службы ковша с расплавом температура t кожуха может возрастать до 350 – 400 °С, что приближается к максимально допустимой температуре службы кожуха, разогрев выше которой может привести к его короблению, потере прочности. Как известно, внешняя теплоизоляция будет способствовать росту температуры кожуха, повышая ее до недопустимых пределов.

В то же время на стадии разогрева футеровки температура кожуха имеет меньшие значения – 200 – 250 °С. Соответственно на стадии разогрева применение внешней теплоизоляции может быть оправдано. Она позволит снизить тепловые потери через кожух в окружающую среду, сэкономить топливо, затрачиваемое на разогрев, повысить производительность разогрева. Конструктивно реализовать внешнюю теплоизоляцию на стадии разогрева можно на основе применения съемных панелей, на стенде сушки и разогрева СРК.

В рамках данной работы на базе математической модели, разработанной на кафедре теплофизики и промышленной экологии Сибирского государственного индустриального университета, проведены исследования эффективности применения внешней теплоизоляции кожухов СРК.

На модели провели многовариантные расчеты для условий предплавленного разогрева по двухстадийному режиму, включающему 8-часовой разогрев и 4-часовую выдержку, футеровки 130-т сталеразливочного ковша, который имеет следующую конструкцию футеровки: рабочий слой толщиной 200 мм выполнен из периклазоуглеродистого кирпича, арматурный 120 мм – муллитокремнеземистый кирпич, теплоизоляционный 10 мм – асбест, кожух 24 мм – низколегированная сталь. При заданных условиях варьировали величину потерь тепла (плотности теплового потока) от кожуха в окружающую среду, снижая ее на 25, 50 и 75 % относительно базового значения (для кожуха без внешней теплоизоляции). На рисунке 1 представлены результаты исследования.

Анализ полученных результатов показывает, что снижение потерь тепла от кожуха в окружающую среду на 25, 50 и 75 % приводит к снижению расхода топлива на 2, 4 и 7 % соответственно, при этом статья теплового баланса, включающая потери тепла через футеровку снижается с 6,3 до 5,5, 4,2 и 2,5 % соответственно. Снижение теплотерь на 75 % приводит к разогре-

ву кожуха до 414 °С т.е. приближению к максимальной температуре эксплуатации кожуха, выполненного из низколегированной марки стали 09Г2С, которая составляет 425 °С. Таким образом, в результате проведенных исследований доказана эффективность применения съемной внешней теплоизоляции кожуха СРК на стадии разогрева футеровки. Снижение потерь тепла от кожуха в окружающую среду на 50 % приводит к экономии 4 %, т.е. 7 м³/ч природного газа.

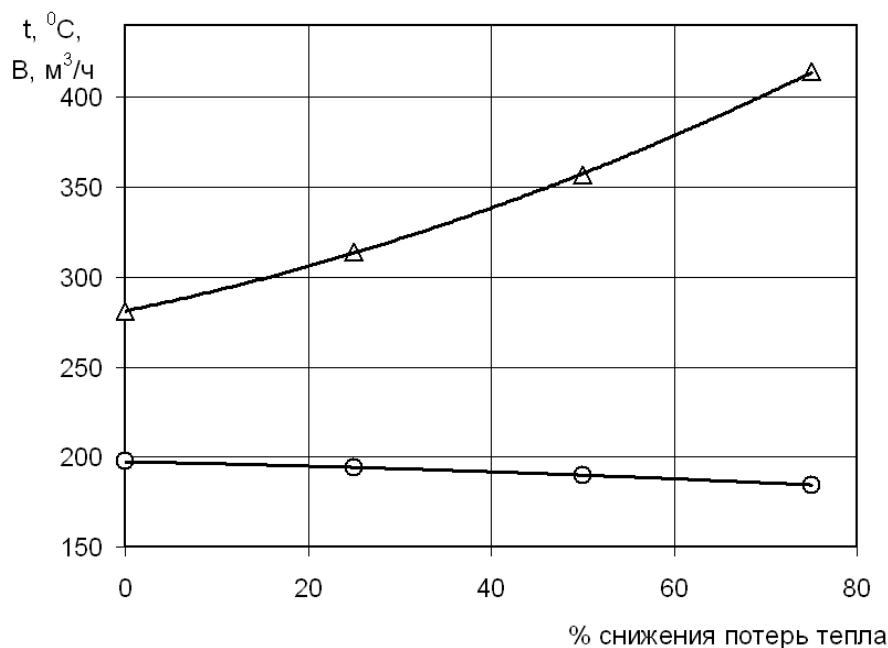


Рисунок 1 – Зависимость расхода топлива (○) и температуры кожуха (Δ) от величины теплоизолирующего эффекта внешней теплоизоляции

УДК 621.771

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСАДКИ ГВОЗДЕЙ ГОСТ 4028-63 ИЗ ПРОВОЛОКИ ГОСТ 3282-74, ПРОИЗВЕДЕННОЙ ИЗ МЕХАНИЧЕСКИ ОЧИЩЕННОЙ КАТАНКИ

Тяпков М.А., Обухов Г.В.

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

В ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат» (ОАО «ЗСМК») строительные гвозди по ГОСТ 4028-63 производят из проволоки ГОСТ 3282-74, изготовленной из механически очищенной катанки. Проволока отличается повышенной технологической пластичностью металла, часть готовой продукции имела отклонения по неотпавшей обеске на го-

ловке и на заостренной части гвоздя. Для высадки гвоздей применяют холодно-высадочные автоматы (ХВА) моделей АА (изготовитель Хмельницкий завод, Украина) и ТХА (изготовитель фирма «Kovopol», Чехия), имеющих кривошипно-шатунный механизм.

В ХВА проволочная заготовка поступает к ножам со стороны матриц. Расстояние между ножами и матрицами сопоставимо с диаметром проволоки. Цикл высадки заостренной части гвоздя перекрывается циклом зажима заготовки между матрицами, поэтому часть заготовки между матрицами и ножами, предназначенная под высадку головки, при смыкании ножей находится в жестко фиксированном положении. Фиксированное положение проволоки между матрицами препятствует истечению металла в направлении матриц из зоны, в которой происходит формирование перемычки между обсечкой и заготовкой под высадку головки. Это приводит к росту напряжений сжатия в очаге деформации, что затрудняет возникновение и развитие трещин в перемычке и отделение обсечки. Данный недостаток связан с принципом работы ХВА моделей, имеющих кривошипно-шатунный механизм. В настоящее время существуют новые высокопроизводительные и малошумные модели ХВА с более совершенными ротационной (фирма Энкотэк) и траверсивной (фирма ВАФИОС) системами, в которых процесс высадки гвоздя разбит на несколько ступеней [1, 2]. На этих ХВА нет жесткой фиксации заготовки непосредственно перед зоной заострения и отрезки, поэтому они лишены вышеуказанного недостатка.

В процессе работы ХВА, имеющих кривошипно-шатунный механизм, ножи совершают циклические возвратно-поступательные движения в вертикальной плоскости в горизонтальном направлении, перпендикулярно продольной оси симметрии проволоки. В процессе деформации проволоки ножами должно произойти формирование заостренной части гвоздя, части заготовки под высадку головки и разрушение перемычки с отделением обсечки. Разрушение металла при отделении обсечки происходит путем образования трещины и ее роста до критической величины, при которой в ее устье напряжения достигают значения теоретической прочности. Концентрации напряжений способствуют внутренние и поверхностные дефекты, в том числе надрезы разной длины и остроты [3]. Форма и размеры надрезов на проволоке при высадке гвоздей зависят от конструкции ножей. Анализ напряженно-деформированного состояния в очаге деформации показал, что создать более благоприятные условия для отделения обсечки на применяемом оборудовании можно за счет изменения угловых размеров рабочей части ножа: увеличения угла между режущими кромками, формирующими заостренную часть гвоздя или угла между режущими кромками, удаляющими обсечку.

Формирование режущей части ножей ХВА осуществляется по рабочим чертежам при помощи профильных шлифовальных кругов на универсально-заточном станке, оборудованном универсальными трехповоротными тисками. На рабочих чертежах должны быть показаны сечения граней рабо-

чей части ножа в плоскости, перпендикулярной направлению перемещения абразивного круга в процессе шлифовки. При выполнении шлифовки профиль шлифовального круга соответствует форме и размерам сечения, углы поворота заготовки ножа, закрепленного в универсальных трехповоротных тисках, соответствуют углам поворота сечения относительно осей координат x, y, z .

Для выполнения рабочих чертежей ножей комбинированной конструкции разработана методика построения трехмерной модели ножа в системе автоматического проектирования AutoCAD 2008. Методика построения трехмерной модели включала следующие операции:

- построение трехмерной модели заготовки ножа;
- построение граней режущих кромок рабочей части ножа по заданным размерам и форме;
- построение секущих плоскостей, перпендикулярных линиям пересечения граней рабочей части ножа;
- определение угловых размеров между линиями пересечения секущих плоскостей и граней рабочей части ножа.

Были разработаны две конструкции ножей: № 1 – с увеличенным по сравнению с типовой конструкцией (на 8 градусов) углом между режущими кромками, формирующими заостренную часть гвоздя и № 2 – с увеличенным по сравнению с типовой конструкцией (на 45 градусов) углом между режущими кромками, удаляющими обсечку. Ножи имели следующие размеры: № 1 – ($\alpha_1 = 48^\circ, \alpha_2 = 66^\circ, \alpha_3 = 80^\circ, \alpha_4 = 85^\circ$), № 2 – ($\alpha_1 = 40^\circ, \alpha_2 = 115^\circ, \alpha_3 = 80^\circ, \alpha_4 = 80^\circ$). Где: α_1 – угол между режущими кромками, формирующими заостренную часть гвоздя; α_2 – угол между режущими кромками, удаляющими обсечку; α_3 – угол заострения кромки, отделяющей обсечку от заостренной части гвоздя; α_4 – угол заострения кромки, отделяющей обсечку от части заготовки под высадку головки.

Опытно-промышленные испытания показали, что применение ножей конструкции № 1 позволяет значительно уменьшить количество гвоздей с неотпавшей обсечкой на заостренной части, однако не обеспечивает стабильного отделения обсечки с конца проволоки под высадку головки – в контрольных партиях среднее количество гвоздей с неотпавшей обсечкой составило 26 %. Отмечено, что гвозди, имевшие неотпавшую обсечку на головке, после галтовки имели головку некруглой формы с отклонением от требований ГОСТ 4028-63 по наименьшему диаметру. Применение ножей конструкции № 2 позволило добиться стабильного отделения обсечки, в контрольных партиях гвоздей с неотпавшей обсечкой не обнаружено.

Библиографический список

1. Новая технология ротационной холодной высадки головки на мелких стержневых крепежных изделиях// Бюллетень НТИ ЧМ. – 2002. – № 4.
2. 50 гвоздей за 1 минуту// Бюллетень НТИ ЧМ. – 1995. – № 1 – 2.
3. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986.

МАЛООТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ШТАМПОВКИ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ПОКОВОК ИЗ ШАРОВЫХ ЗАГОТОВОК

**Филиппова М.В., Перетяцько В.Н., Котлов Г.С.,
Бахаев А.В., Фёдоров А.А.**

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк.*

Развитие кузнечно-штамповочного производства позволяет в настоящее время получать точные по массе поковки с минимальными припусками на механическую обработку и с существенным уменьшением металлоотходов за счет применения безоблойной схемы штамповки. Но широкое внедрение этой прогрессивной технологии сдерживается отсутствием достаточно простого, экономичного и вместе с тем высокопроизводительного процесса получения точных заготовок. Традиционные способы получения заготовок резкой сдвигом характеризуются довольно большими допусками на размеры и искаженной геометрией, а способы, обеспечивающие качественную заготовку, отличаются либо повышенным расходом металла в стружку, либо недостаточной производительностью, либо сложностью дозирующих устройств.

Эту проблему можно решить за счет разделения прокатанных штанг на заготовки в использовании станов поперечно-винтовой прокатки. Единичные примеры внедрения новой технологии уже доказали её эффективность. Так, производительность получения шаровых заготовок поперечно-винтовой прокаткой в 7 – 10 раз выше, чем производительность получения цилиндрических заготовок традиционной резкой сдвигом сортового проката на кривошипных ножницах или в штампах. Современный шаропрокатный стан 60 – 125 имеет расчетную производительность прокатки шаров диаметром 90 – 100 мм – 19,7 т/ч; средняя производительность кривошипных ножниц при холодной резке проката такого же сечения составляет 450 шт./ч [1]. При резке заготовок с соотношением $D/H = 1$ часовая производительность будет 2,7 т. Если учесть, что при резке с нагревом производительность падает на 20 %, то получается, что один шаропрокатный стан может заменить почти 10 кривошипных ножниц.

Шаровая заготовка имеет хорошую поверхность, отличается высокой точностью по массе, что позволяет ужесточить допуски на размеры получаемой поковки. Проведенное взвешивание партии шаров диаметром 93 мм в количестве 100 шт. выявило отклонение по массе от номинала 3330 ± 9 г, причем масса основной группы заготовок (90 шт.) лежит в пределах 3332 – 3336 г. Как известно [2], подобной точности для заготовок, получаемых резанием на ножницах, достичь нельзя. Кривошипные ножницы обеспечивают

допуск на заготовки не менее 5 – 9 %, что не позволяет использовать такие заготовки для точной объемной штамповки, тем более для безоблойной штамповки.

Важным достоинством шаровой заготовки является тот факт, что она не требует ориентирования в штампе. Проведенные нами исследования показали, что различие положение оси шара относительно оси штампа не оказывает заметного влияния на качество поковки. В производственных условиях Алтайского тракторного завода поковку упорной шайбы штамповали из шаровых заготовок, ось прокатки которых была расположена вдоль оси штампа, под углом 45 градусов к оси штамповки и параллельно плоскости разъема. Металлографические исследования в заводской лаборатории подтвердили соответствие всех поковок требованиям стандарта. Исключение операции ориентирования заготовки в штампе существенно упрощает средства автоматической подачи их в штамп.

Более высокая подвижность шара, по сравнению с цилиндром, способствует применению более простых устройств для механизации передачи заготовки по технологической линии от бункера-загрузчика к индуктору и далее к кривошипному прессу. Вместо приводных транспортёров можно применять наклонные лотки.

Во время производственных экспериментов подтверждена также возможность нагрева шаров в индукционных нагревателях. Замеры температуры по сечению шаровой заготовки позволили сделать вывод, что режим нагрева шаров близок к режиму нагрева цилиндрических заготовок того же диаметра. Облойная штамповка различных осесимметричных поковок из номенклатуры Алтайского тракторного завода г. Рубцовска, завода «Трансмаш» г. Барнаула и ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат» (НКМК) г. Новокузнецка показала, что шаровую заготовку следует применять при открытой штамповке поковок, образуемых выдавливанием и имеющих выступы в центральной части. Периферийные углубления в штампе заполняются труднее, в этих случаях наблюдается ранее образование облоя. Поэтому поковки образуемые осаживанием предпочтительнее штамповать в безоблойных штампах или в штампах со смещенной плоскостью разъема.

Следует добавить, что шаровая заготовка по сравнению с цилиндрической обеспечивает более плавный режим нагружения деталей прессы, что способствует более длительной работе оборудования и повышает стойкость инструмента. Процесс штамповки с использованием шаровой заготовки позволяет снизить трудоёмкость изготовления поковок и обеспечивает снижение норм времени на одну поковку. Особенно эффективно применение такого технологического процесса при крупносерийном и массовом производстве.

Промышленное использование новой технологии развивается по двум схемам: с установкой собственного шаропрокатного стана и с централизованным получением готовых шаровых заготовок нужных типоразмеров с ме-

таллургического завода.

По первой схеме уже длительное время успешно работает Новосибирский инструментальный завод (НИЗ). В цехе, специализированном на штамповке сменных головок торцевых ключей, установлены два стана поперечно-винтовой прокатки производительностью 1500 шт./ч каждый, которые полностью обеспечивают заготовками кривошипные прессы, работающие в автоматическом режиме. Нагрев горячекатаного проката марки 40ХФА производится в индукционном нагревателе до температуры 950 – 1000 °С. Сменные валки с однозаходной калибровкой обеспечивают получение заготовок диаметром 24,6 – 42,5 мм, из которых штампуются поковки сменных головок 21 типоразмера. Шаровые заготовки катают с допуском плюс 0,2 мм на диаметр. Так как при отрыве шара от штанги на заготовке остаются риски на полюсах отрыва, то все прокатанные заготовки после охлаждения на воздухе загружают в шароопиловочные станки, на которых происходит механическое удаление этих дефектов и общая опиловка поверхности. Затем шары загружаются в галтовочный барабан, в котором на них наносится технологическая смазка на основе сульфитно-спиртовой барды и серебристого графита. Смазанные заготовки мостовым краном загружаются в автоматический бункер-загрузчик, который питает двухручьевой индукционный нагреватель, обслуживающий два прессы. Чтобы смазка не выгорала, нагрев в индукторе производится до температуры 700 – 750 °С. Стойкости валков шаропрокатного стана до перевалки составляет 100 – 150 тысяч шаров. Получение сменных головок осуществляется полугорячей штамповкой выдавливанием. Нагретые шары по наклонному лотку по очереди вкатываются через боковое окно кривошипного прессы в рабочую зону штампа и с помощью автоматического загрузчика фиксируются в матрице. После штамповки поковки нормализуются в печи с пульсирующим подом.

По второй схеме на НКМК построен специализированный кузнечный цех. На шаропрокатном стане 80 – 125 производительностью 150 тыс. т шаров в год получают заготовки не только для нужд комбината, но и для поставок на некоторые машиностроительные предприятия.

Технологическая линия для штамповки из шаровой заготовки на НКМК выглядит следующим образом.

В заготовительном отделении цеха на шаропрокатном стане предусмотрено катать шаровые заготовки диаметром 80 – 125 мм. Нагрев проката происходит в печи с шагающей балкой до температуры 1150 – 1250 °С. Прокатка шаров осуществляется при температуре не менее 950 – 1050 °С. Оба валка рабочей клетки стана имеют одно- или двухзаходную винтовую нарезку с изменяющейся высотой реборды. Средний темп прокатки 1,8 с на одну шаровую заготовку. Стойкость валков до перевалки от 500 до 1000 т шаров. Из заготовительного отделения шаровые заготовки передаются в прессовое отделение цеха и загружаются в автоматизированную бункерную установку, состоящую из наклонного короба емкостью 2,25 т шаров и вертикального

штока, выталкивающего в заданном режиме шары из короба на приемный лоток, по которому заготовки скатываются к индукционному нагревателю. Нагрев шаровых заготовок осуществляется в серийном индукторе ИК-1-750/1, производительностью 2,1 т/ч. Передача нагретых заготовок к кривошипному прессу АК-8544 происходит по наклонному лотку, скатываясь по которому шар через боковое окно прессы попадает в межштамповое пространство.

При штамповке поддонов в нижней половине штампа для фиксации шаровой заготовки выполнена сферическая выемка глубиной 0,03 D шара. Точная масса заготовки позволила выполнить штамп по облойной схеме и без компенсаторов. Допустимые превышения массы над номинальным значением вполне компенсируются упругим пружинением станины прессы. Штамповка происходит без предварительной осадки, сразу в чистовом ручье. Нижний штамп при штамповке поддона не имеет углублений, поэтому вся образующаяся при штамповке окалина выдувается сжатым воздухом в процессе деформирования и заштамповки окалина не происходит. В штампе предусмотрено выталкивание поковки из верхнего штампа. После штамповки поковки проходят нормализацию и обработку в галтовочных барабанах.

Библиографический список

1. Норицын И.А. Проектирование кузнечных и холодноштамповочных цехов и заводов. Учеб. пособие для ВУЗов. / А.И. Норицын, В.Я. Шехтер, А.М. Мансуров. – М.: Высшая школа, 1977, - 423 с., ил.
2. Ковка и штамповка [Текст] : справочник / ред. совет : Е.И. Семенов (пред.) [и др.]. – М.: Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 568 с.

УДК 658.26:621.31

ПЛАНИРОВАНИЕ ПОЧАСОВОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ НА ОАО «ЗСМК»

Шишова И.В., Локтеева Н.Г.

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

Постановление Правительства РФ № 530 от 31.08.2006 «Об утверждении правил функционирования розничных рынков электрической энергии в переходный период реформирования электроэнергетики» законодательно ввело требование к почасовому учету потребления электрической энергии для потребителей, установленная мощность электроприемников которых составляет более 750 кВА. В соответствии с данным требованием планы потребители должны предоставлять с почасовой разбивкой. Большие отклонения между фактом и планом влекут за собой обязательную оплату отклонений и покупку части электроэнергии по нерегулируемым тарифам, которые,

как правило, выше тарифов, утвержденных РЭК Кемеровской области.

В соответствии с планом либерализации рынка электроэнергии, начиная с 2011 года, вся электроэнергия для промышленных потребителей будет продаваться по свободным ценам. Чтобы быть готовым к неизбежному росту цен на электроэнергию, потребителям уже сейчас необходимо принимать меры для снижения среднего тарифа потребления. Большое влияние на цену потребляемой мощности конечных потребителей на розничном рынке зависит стратегия поведения гарантирующих поставщиков и энергосбытовых компаний на конкурентном рынке мощности. Но и потребитель может принять ряд мер, способствующих снижению среднего тарифа:

1. Выбор оптимальной сбытовой компании – активно участвующей на конкурентном рынке мощности (в т.ч. на Бирже) с целью снижения цены мощности, транслируемой на розничный рынок конечному потребителю;
2. Выбор расчетного тарифа (одноставочный или двухставочный);
3. Аренда питающего оборудования, что позволит претендовать на более высокий уровень напряжения (более низкий тариф);
4. Оптимальное планирование собственного часового потребления мощности.

В связи с тем, что установленная мощность электроприемников ОАО «ЗСМК» более 750 кВА комбинат подает в энергоснабжающую организацию планы потребления электроэнергии с почасовой разбивкой.

Всем понятно, что спланировать почасовое потребление мощности с 0 отклонением от факта невозможно, но минимизировать данное отклонение вполне реально. На ОАО «ЗСМК» уделяется большое внимание к разработке методов планирования почасового потребления мощности комбината. В настоящее время на комбинате в данном процессе задействованы два структурных подразделения комбината, это Управление главного энергетика и Производственное управление.

По договору энергоснабжения планы на следующий день должны быть направлены в ООО «Металлэнергофинанс» (Гарантирующий Поставщик) до 11 часов местного времени. Соответственно за это время необходимо проанализировать всю ситуацию, сложившуюся на комбинате в части фактического объема производства основных видов продукции, времени работы и уровня загрузки наиболее энергоемких агрегатов комбината, а также план производства и работу агрегатов на следующий день. Объем работы очень большой, поэтому он разбит на два этапа и поделен между подразделениями:

1. Производственное управление разрабатывает почасовое производство основных видов продукции с учетом остановок основных металлургических агрегатов и времени простоя. Вся наработанная информация передается в Управление главного энергетика до 10 часов местного времени.

2. В Управление главного энергетика непосредственно производится анализ фактического объема производства основных видов продукции, времени работы и уровня загрузки наиболее энергоемких агрегатов комбината.

После получения информации от Производственного управления и сопоставления её с данными прошлых периодов, формируется часовой план потребления электрической энергии на следующий день.

Большую роль при планировании выполняет АСКУЭ КТС «Энергия+», развитию которой на комбинате уделяется серьёзное внимание. Благодаря хорошо развитой АСКУЭ, в которую заведены все коммерческие точки учета электрической энергии, расположенные на подстанциях напряжением 6 кВ и выше, можно видеть на экране как часовую нагрузку комбината в целом, так и часовое потребление по каждой точке учета. Это позволяет проводить формирование групп любого состава. Также в АСКУЭ заведены группы, позволяющие видеть часовую нагрузку крупных агрегатов комбината, расход которых существенно влияет на часовое потребление комбината.

Примером крупного агрегата, влияющего на часовую нагрузку комбината, может служить мелкосортный стан 250-1 (рисунок 1), нагрузка которого колеблется в зависимости от профиля, прокатываемого на нем, времени проведения пересмены работающего персонала, времени и длительности проведения перевалки с одного профиля на другой.

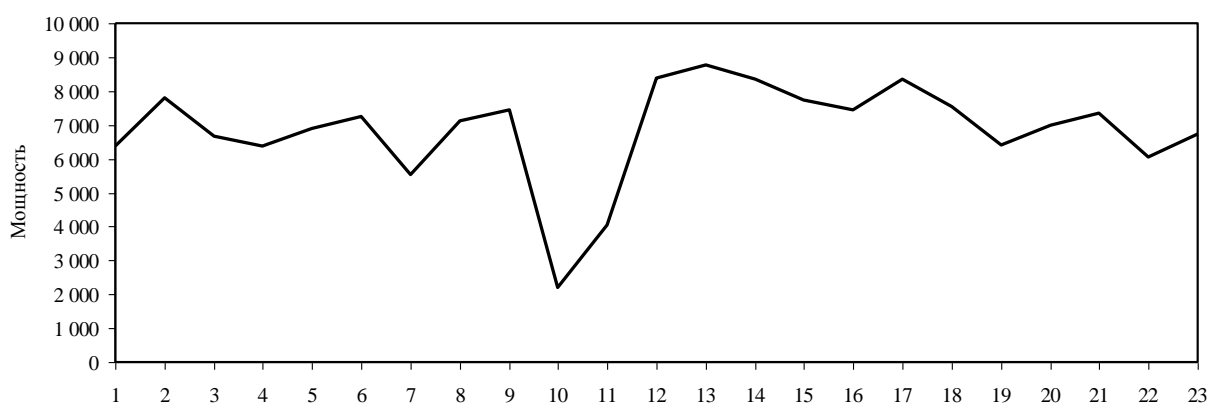


Рисунок 1 – Мелкосортный стан 250-1

Сложным в планировании является также агрегат Печь-ковш (рисунок 2), нагрузка которого колеблется от 2 до 25 МВт. Здесь все зависит от времени начала плавки, длительности, температуры нагрева металла.

Помимо неравномерности нагрузки крупных агрегатов на фактический график нагрузки комбината влияет соблюдение подразделениями комбината выполнения плановых графиков ремонта и производственной программы.

В настоящее время на ОАО «ЗСМК» достигнуты отклонения менее 4 % (рисунок 3). Понятно, что для такой большой нагрузки, с которой работает ЗСМК 4 % – это много, останавливаться на достигнутом нецелесообразно.

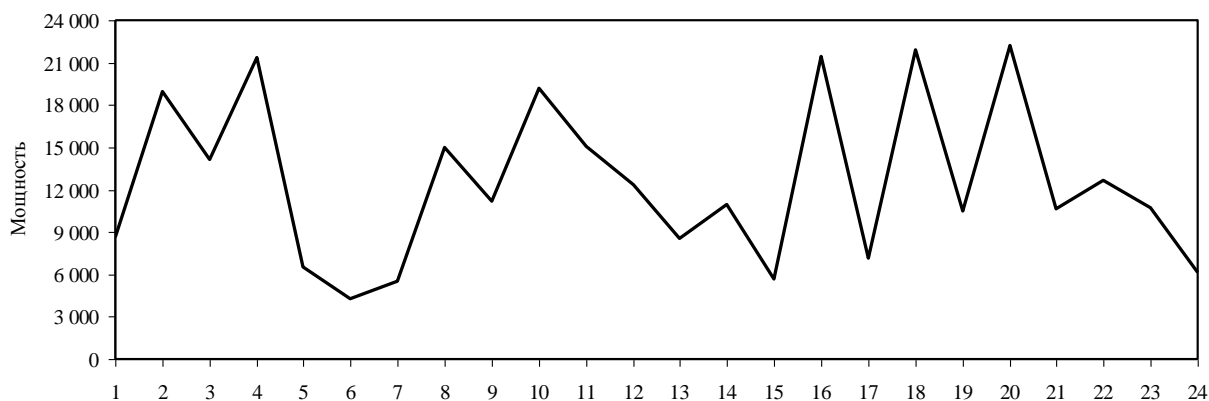


Рисунок 2 – Агрегат Печь-ковш

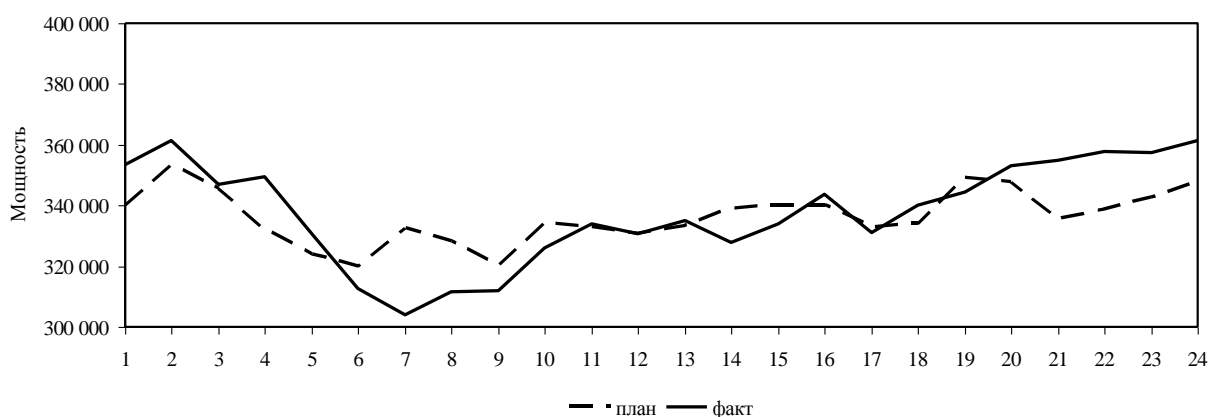


Рисунок 3 – Нагрузка комбината за 21.07.2009 г. (план и факт)

Одной из перспективных задач в области планирования часового потребления мощности является частичная автоматизация процесса с учетом всех особенностей производства.

УДК 621.791.753

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СОСТАВОВ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОДОВ ОСНОВНОГО ТИПА

ИГУШЕВ В.Ф., ВОСТРЕЦОВ Г.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Электроды с основным покрытием применяются для сварки ответственных металлоконструкций на постоянном токе обратной полярности. Металл, наплавленный такими электродами, чаще всего соответствует спокойной стали, и содержит небольшое количество кислорода, водорода и азота.

Металл шва, стойкий против образования кристаллизационных трещин, старения, имеет достаточно высокие показатели ударной вязкости, как при положительных, так и при отрицательных температурах. Электроды с основным покрытием весьма чувствительны к образованию пор во время сварки, если кромки свариваемых изделий покрыты окалиной, ржавчиной, маслом, а также, если электродное покрытие влажное. Примером электродов с основным покрытием являются электроды марок УОНИ 13/55, УОНИ 13/45 и др.

Химический состав и механические свойства металла шва, формирование шва, стабильность горения дуги зависят в основном от состава покрытия. В настоящее время из-за дефицита некоторых компонентов покрытий появилось много новых составов, которые разработаны с учетом местных минералов. В настоящей работе также были изучены местные источники сырья и оценена возможность использования их в составах покрытий электродов основного типа.

Один из основных вопросов, который необходимо решить при разработке составов покрытий, это правильный выбор шлаковой системы.

Получающийся в результате ручной дуговой сварки шлак в основном формируется за счет покрытий. Шлакообразующие, вводимые в состав основного покрытия, весьма разнообразны. Это различные окислы – CaO , MnO , MgO , FeO , Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , Na_2O , K_2O и другие соединения.

Сварочные шлаки должны обладать определенными физико-химическими свойствами. Одной из наиболее важных характеристик шлака является его вязкость в расплавленном состоянии. От вязкости зависят характер формирования шва, глубина проплавления основного металла, выход газов из зоны плавления и др. Шлаки изменяют вязкость в довольно широком диапазоне температур, поэтому и их температура плавления является как бы условной. Шлаки, образующиеся при ручной дуговой сварке покрытыми электродами, должны хорошо смачивать поверхность ванны жидкого металла.

В процессе сварки шлаки должны иметь температуру плавления, меньше температуры плавления металла. Обычно наиболее благоприятна температура плавления шлака, при которой он переходит в жидкотекучее состояние, на $200 - 300$ °С меньше температуры плавления металла.

Другой важной характеристикой шлака является плотность и газопроницаемость. При меньшей плотности шлак легче удаляется из металла сварочной ванны, всплывая на ее поверхность. Это способствует получению сварных швов, чистых от неметаллических включений. Шлаки должны иметь высокую газопроницаемость.

Состав покрытия влияет на отделимость шлаковой корки от поверхности шва. Неудовлетворительная отделимость шлаковой корки может быть обусловлена как прилипанием шлака к поверхности шва, так и заклиниванием шлака кромками сварного соединения. Установлено, что легче удаляются шлаки с малой прочностью и большим коэффициентом теплового расширения.

ния – $\alpha_{ш}$. Средний темп (коэффициент) изменение величины $\alpha_{ш}$ при варьировании каждого из приведенных ниже компонентов на 1 % по убывающей степени влияния на $\alpha_{ш}$ показаны ниже: CaO – 1,14, SiO₂ – 1,023, MnO – 0,997, Al₂O₃ – 0,995, MgO – 0,992, FeO – 0,934, CaF₂ – 0,912.

Из этих данных следует, что наиболее значительное влияние на коэффициент теплового расширения шлака оказывают CaO, SiO₂ и MnO.

Отделимость шлаковой корки зависит также от характера химического взаимодействия между шлаком и металлом. Жидкий сварочный шлак оказывает окисляющее действие на поверхность затвердевшего шва. Хорошей отделимости шлаковой корки сопутствует отсутствие оксидного слоя на поверхности шва. Прочность связи шлаковой корки с наплавленным металлом возрастает с увеличением в приграничном слое концентрации соединений, параметры кристаллической решетки которых близки к параметрам α – железа.

Ниже перечисленные окислы, имеющиеся в составе шлаков при ручной дуговой сварке, имеют одинаковый структурный тип и параметры кристаллической решетки: FeO, MnO, Cr₂O₃. Содержание данных окислов в шлаках должно быть ограничено.

Рассмотрим в каком направлении совершенствовалось основное покрытие.

Для глубокого раскисления наплавленного металла, как говорилось выше, применялись сплавы железа с марганцем, кремнием и титаном. В последнее десятилетие в связи с дефицитом ферротитана и низкоуглеродистого ферромарганца стали применять основные покрытия без ферротитана. Низкоуглеродистый ферромарганец в основных покрытиях стали заменять более дешевым ферросиликомарганцем. Научные исследования, проведенные в этом направлении, показали, что при строгом соблюдении технологического процесса производства электродов ферросиликомарганец успешно заменяет и часть ферросилиция в основном покрытии.

Учитывая вышеприведенные замечания в работе разработано основное покрытие для электродов типа Э-50А марки УОНИ-13/55С с применением местных компонентов.

Газовую защиту в основном покрытии создают мрамор и целлюлоза.

Шлаковую защиту создает мрамор (CaO), кварцевый песок (SiO₂), тальк (MgO + SiO₂) и плавиковошпатовый концентрат (CaF₂). Фтористый кальций способствует удалению водорода из металла. Водород соединяется в нерастворимое в металле соединение HF и удаляется из металла.

В качестве связующего используется жидкое калиево-натриевое стекло, которое поставляется в шлак окислы кремния – SiO₂ и окислы натрия и калия K₂O + Na₂O.

Ионизаторами столба дуги являются щелочные металлы калий и натрий, которые вводятся с жидким стеклом. Недостающая часть ионизаторов вводится в виде соды кальцинированной технической – Na₂CO₃.

В составе покрытия использовали местный мрамор, тальк, кварцевый песок и ферросилиций.

Остальные компоненты были поставлены с Урала за исключением ферросиликомарганца, который выплавляется на Украине.

В работе выполнен расчет состава, образующего при плавлении покрытия шлака, и оценена его основность и температура плавления по диаграммам состояния шлаковых систем.

Полученный шлак имеет ярко выраженный основной характер. Основность равна примерно 1,7. Температура плавления находится в пределах 1300 – 1350 °С. Химический анализ полученного шлака показал хорошее совпадение с расчетным составом.

На основании разработанного состава покрытия основного вида с применением местных компонентов была изготовлена опытно-промышленная партия электродов в электродном цехе ЗСМК, исследованы сварочно-технологические свойства электродов и определены механические свойства металла шва и химический состав.

Разработанным электродам была присвоена марка УОНИ-13/55С. Разработан технологический регламент на производство электродов типа Э-50А вышеприведенной марки. Проведены квалификационные испытания данных электродов.

Результаты испытаний показали, что предлагаемое основное покрытие обеспечивает хорошие сварочно-технологические свойства.

Данными электродами можно варить на постоянном токе обратной полярности по зачищенным кромкам металла. Получающийся шлак жидкотекучий, хорошо укрывает сварочную ванну. Шлак хорошо пропускает газы. Пористый наплавленный металл имеет следующий химический состав, %: 0,08 С; 0,035 Si; 1,00 Mn; 0,020 S; 0,020 P.

Механические свойства металла шва соответствуют требованиям ГОСТа 9466-75 к электродам типа Э-50А.

Данные электроды рекомендуются для сварки ответственных конструкций из углеродистых низколегированных сталей.

УДК 621.791:658.52.011.56

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «САПР В СВАРКЕ»

КОЛМОГОРОВ Д.Е.

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

В общем объеме технологических процессов производства машиностроительной продукции сборочно-сварочные работы занимают второе ме-

сто после металлообработки. В связи с этим можно ожидать заметного повышения рентабельности производства в случае эффективного использования современных информационных технологий в проектировании, производстве и управлении качеством сварных конструкций [1].

Дисциплина содержит сведения о структуре и возможностях современных систем автоматизированного проектирования (САПР) и применении их в сварочном производстве. Дополняет сведения, полученные студентами в специальных курсах: «Проектирование сварных конструкций»; «Производство сварных конструкций»; «Источники питания» и др.

Целью изучения дисциплины является получение основных знаний об автоматизации проектирования технологических процессов и технических устройств, используемых в сварочном производстве, и рассмотрение основ построения и функционирования автоматизированных систем проектирования.

В рабочей программе дисциплины предусмотрены следующие виды занятий: лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа студента.

Лекционный материал состоит из двух основных частей:

- Принципы создания и функционирования САПР;
- Современные системы автоматизированного проектирования.

В первой части рассматриваются вопросы, касающиеся общих принципов построения САПР, видов описания объектов проектирования в САПР, классификации и структурных частей САПР. Основной упор делается на рассмотрение видов обеспечения: математическое, программное, лингвистическое, информационное, методическое, организационное. Отдельно глубокому рассмотрению подвергается техническое обеспечение САПР, включая группы технических средств: подготовки и ввода данных, передачи данных, программной обработки данных, отображения и документирования данных. Рассматривается общая структура технического обеспечения и типы сетей, используемые в различных проектных организациях.

Во второй части лекционного курса рассматриваются современные технологии проектирования и графического моделирования. Изучаются CAD, CAM, CAE, CAPP – системы. Рассматриваются принципы их работы на примере современных программных продуктов: Компас-3D, Вертикаль, Autodesk Inventor, APM WinMachine и др. Здесь же рассматриваются: комплексные автоматизированные системы; CALS-технология; системы управления в составе комплексных автоматизированных систем; автоматизированные системы делопроизводства.

Лекционные занятия сопровождаются презентациями САПР отечественного и зарубежного производства, а так же презентациями программных продуктов, разработанных на кафедре Сварочного производства ЮТИ ТПУ.

Основную долю аудиторных занятий занимают лабораторные работы, направленные на практическое освоение САПР, применяемых в сварочном производстве. Лабораторные работы разбиты на три ступени в зависимости от уровня подготовки пользователя: начальный, средний, опытный.

- На начальном уровне предусмотрены следующие виды занятий:
- Создание и настройка новых документов в системе Компас-3D;
 - Принципы черчения в системе Компас-3D;
 - Построение геометрических примитивов в системе Компас-3D;
 - Проектирование сварной конструкции в системе Компас-3D.

Последний из вышеперечисленных видов занятий предусматривает разработку рабочих чертежей сварной конструкции, оборудования и оснастки при выполнении курсового проекта по дисциплине «Производство сварных конструкций».

Лабораторные занятия для пользователей среднего уровня направлены на изучение и практическое применение твердотельного моделирования при проектировании сварных конструкций и включают в себя:

- Ознакомление с интерфейсом системы трехмерного моделирования Компас-3D;
- Построение объемной конструкции (типа «короб») в системе Компас-3D;
- Проектирование объемной сварной конструкции в системе Компас-3D при выполнении курсового проекта по дисциплине «Производство сварных конструкций».

Лабораторные работы для опытных пользователей заключаются в разработке, проектировании и 3D-моделировании сложных сварных конструкций, сварочного оборудования, приспособлений и оснастки по индивидуальным заданиям преподавателя с целью совершенствования навыков работы в системах автоматизированного проектирования. Кроме того, проекты, выполненные студентами этой категории, представляются на различные конкурсы. Так в 2009 году был представлен проект сварочной головки на конкурс «Асов компьютерного моделирования», который проводит компания «АСКОН» – лидер в разработке отечественного программного обеспечения для САПР. Общий вид модели представлен на рисунке 1, проект был удостоен диплома.

Независимо от уровня подготовки студентов предусмотрен ряд лабораторных работ, направленных на изучение автоматизированного проектирования технологических процессов в сварочном производстве. В частности рассматривается программное обеспечение, разработанное коллективом молодых авторов на кафедре Сварочного производства ЮТИ ТПУ. Программа «САПР ТП» имеет свидетельство о государственной регистрации [2], включает в себя модули расчета режимов сварки, нормирования операций, составления технологического процесса сборки и сварки металлоконструкции.

Необходимо отметить, что все виды лабораторных занятий проводятся по принципу «делай как я», т.е. студенты копируют действия преподавателя (процесс работы отображается при помощи цифрового проектора или широкоформатного монитора), что существенно упрощает и ускоряет процесс обучения.

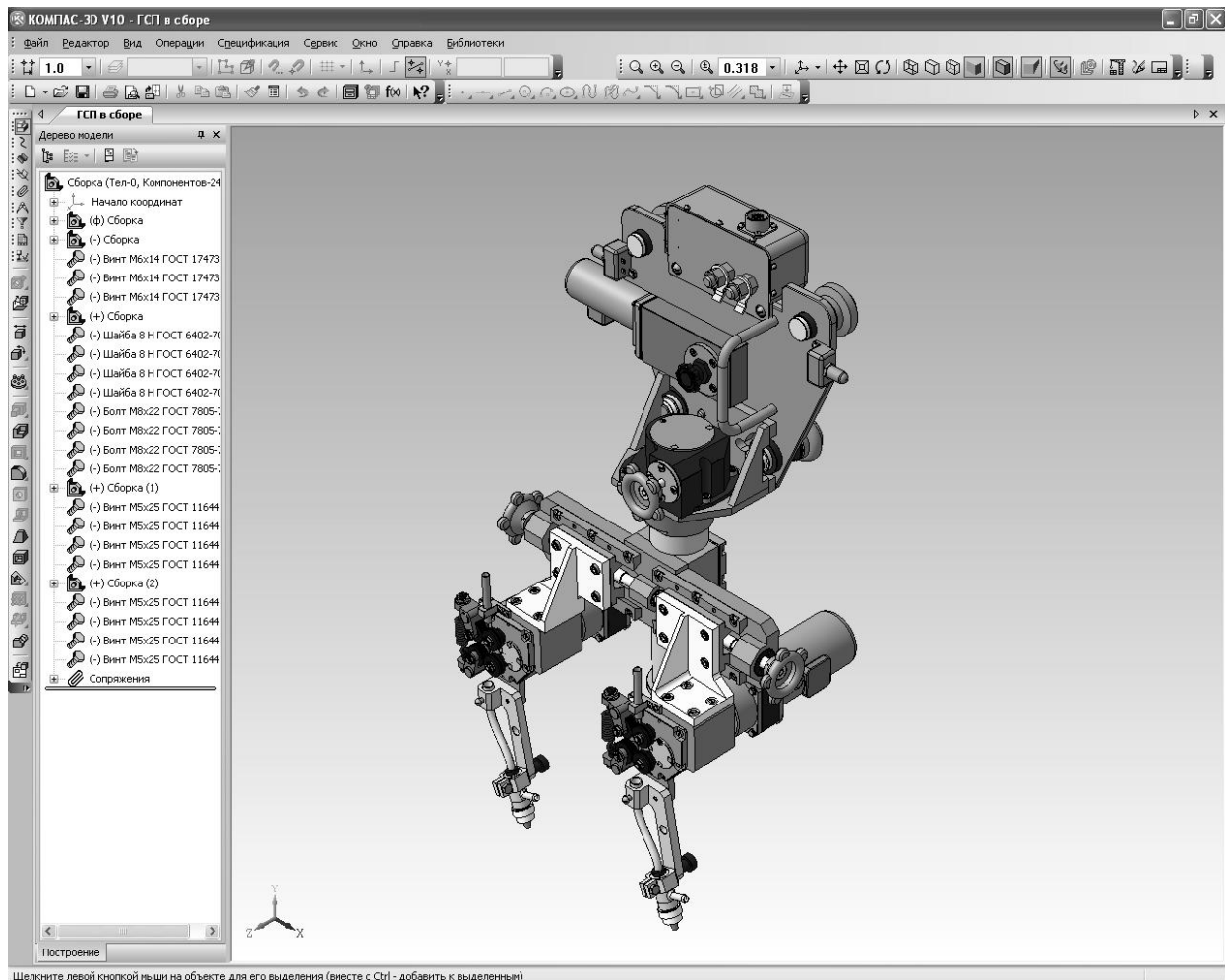


Рисунок 1 – Модель автоматической сварочной головки

Известно, что САПР — комплекс технических средств и программного обеспечения, предназначенный для автоматизированного проектирования технических объектов с участием человека.

Проектировщик организует процесс проектирования с использованием данной САПР, направляет ход решения задачи в зависимости от полученных промежуточных результатов, анализирует и оценивает полученные результаты, принимает решение по проекту и несет ответственность за его качество. Поэтому эффективность диалогового взаимодействия в САПР во многом определяется квалификацией проектировщика – пользователя системы.

Библиографический список

1. Бокарев Д.И. Основы систем автоматизированного проектирования в сварке: Учеб. пособие. Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2006. – 264 с.
2. Павлов Н.В., Крюков А.В. Система автоматизированного проектирования технологического процесса сборки и сварки металлоконструкций. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ. 2008. № 2008612023.

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ НАПЛАВЛЕННОЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ В ПРОЦЕССЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ

ВОСТРЕЦОВ Г.Н., ИГУШЕВ В.Ф., РЯБОВ В.Г.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Деформационное упрочнение рабочих поверхностей деталей машин широко применяется, как отделочная операция при изготовлении цельнометаллических деталей, а также при реставрации деталей, изношенных рабочие поверхности которых восстанавливаются наплавкой. В последнем случае наплавка выполняется с целью восстановления геометрии деталей и наплавленный металл близок по прочностным характеристикам к материалу изделия. Представляет практический и научный интерес изучение технологических возможностей сочетания наплавки износостойкими, с высокой твердостью материалами (в частности теплостойкими инструментальными сталями) и дополнительного поверхностного деформационного упрочнения наплавленного металла обкаткой.

Обкатка сопровождается пластической деформацией металла поверхностного слоя заготовки. Зарождаясь первоначально в небольших объемах, вследствие сдвигового характера пластическая деформация распространяется по определенным кристаллографическим плоскостям и направлениям. Внутри зерен происходит интенсивное образование и движение дислокаций. Скорость образования дислокаций возрастает как с увеличением времени действия, так и с повышением деформирующих напряжений. Движущиеся дислокации, встречаясь с препятствиями, блокируется, т.е. происходит их закрепление.

В результате наклепа изменяются механические свойства металла: повышаются все характеристики сопротивления деформации, понижается пластичность и увеличивается твердость. Это объясняется развитием дислокаций и концентраций их около линий сдвигов. Наклеп приводит к равномерному распределению дислокаций в деформированном объеме металла, поэтому для последующих пластических деформаций необходимы большие напряжения, чем для неупрочненного металла.

При пластической деформации закаленных сталей с мартенсито-аустенитной структурой, какими и являются наплавливаемые, в рассматриваемом случае, материалы, происходит распад остаточного аустенита и его превращение в мартенсит, что сопровождается интенсивным ростом твердости.

Таким образом, при обработке наплавленного металла с мартенсито-аустенитной структурой упрочнение не является следствием только пласти-

ческой деформации. В этом случае в деформированном слое происходит дополнительное повышение твердости, обусловленное распадом остаточного аустенита и превращением его в мартенсит и, к тому же, образованием в процессе деформации высокодисперсных карбидов, блокирующих сдвиги по плоскостям скольжения.

Поверхностное пластическое деформирование наплавленного слоя валков при обработке, в результате наложения обоих видов упрочнения, должно обеспечить существенное повышение поверхностной твердости рабочего слоя валков и их эксплуатационной стойкости.

Пластическое деформирование поверхности может быть осуществлено различными способами при статическом (обработка роликами и шариками) или ударном (наклеп дробью, чеканка) приложении нагрузки. Для упрочнения наплавленного слоя прокатных валков с цилиндрической бочкой наиболее приемлемым с точки зрения технологичности является статическое приложение нагрузки с использованием в качестве деформирующего инструмента стальных закаленных шариков. Большим преимуществом обкатки шариком является возможность получения высокого класса высоты обработанных поверхностей. Это позволит свести к минимуму съём упрочненного слоя при чистовой шлифовке перед постановкой валков в клеть и тем самым повысить их срок эксплуатации.

Параметрами режима процесса обкатки шариками являются: диаметр шарика; шаг подачи; скорость обработки (линейная скорость перемещения деформирующего инструмента относительно обрабатываемой поверхности); усилие на шарик; число проходов.

Усилие на шарик является основным параметром режима, поскольку определяет величину давления в зоне контакта шарика с обрабатываемой поверхностью, степень деформации металла и величину его упрочнения. При очень высоком усилии на шарик в процессе обработки может наблюдаться наклеп металла, сопровождающийся появлением поперечных трещин, шелушения и отслаивания металла. Допустимое давление должно быть меньше критического, которое устанавливается главным образом опытным путем для данного материала и условий обработки.

Число проходов определяет количество условных деформаций, вызывающих изменение поверхностей твердости. Влияние числа проходов следует рассматривать с учетом давления в контакте и шагом подачи. Если давление ниже оптимального, то повторные проходы могут повышать поверхностную твердость.

Для определения оптимальных, с точки зрения достижения максимальной поверхностной твердости при минимальной продолжительности обработки, усилия на шарик и числа проходов проводили исследования на плоских дисковых образцах с наплавленным слоем. Наплавку образца (сталь 30ХГСА) выполняли порошковой проволокой ПП-9Х4В2М8ФЮ диаметром 3,7 мм. Режимы наплавки: ток сжатой дуги – 240 А; скорость подачи проволоки – 44 м/ч; скорость наплавки 12 м/ч; расход плазмообразующего газа

(аргон) 6 л/мин; расход защитного газа (азот) 18 л/мин. Наплавку осуществляли в три слоя без перегрева, с шириной слоя – в один валик.

Для получения скоростей охлаждения наплавленного металла, обеспечивающих получение наплавленного металла в закаленном состоянии, наплавку выполняли в специально разработанном приспособлении с охлаждением тыльной торцевой поверхности образца проточной водой. Перед обкаткой поверхность наплавленного кольцевого слоя шлифовали до получения площадки шириной 18 – 22 мм. Обкатывали как наплавленный металл в состоянии после наплавки, так и двукратного отпуска при температуре 560 °С с выдержкой 1 ч и охлаждением на воздухе. Твердость наплавленного металла измеряли перед обкаткой и после деформационного упрочнения согласно ГОСТ 299-75 на приборе ТП-7Р-1.

Обкатку образцов выполняли в специально разработанном приспособлении, смонтированном на горизонтально-фрезерном станке. Для обкатки использовали стальной закаленный шарик диаметром 15 мм; скорость обкатки составляла 1,1 м/с; шаг подачи – 0,12 мм.

В первой серии опытов определяли зависимость твердости упрочненного обкаткой слоя от усилия на шарик и количество проходов. Усилие на шарик варьировали в пределах 6500 – 8000 Н, число проходов до четырех.

При усилении на шарик превышающем 7600 Н, как для наплаваемого металла без термообработки, так и после отпуска, при обкатке происходит наклеп деформируемого слоя, сопровождающийся шелушением и отслоением металла. Максимально допустимое усилие на шарик, при котором не происходит наклепа и достигается максимальная твердость (HV 1160) составляет 7600 Н. При максимально допустимом усилении на шарик максимальная твердость достигается уже после первого прихода. Выполнение последующих второго, третьего и четвертого проходов не увеличивает твердости, но для наплавленного металла, прошедшего термообработку может привести к чрезмерному наклепу. При обкатке наплавленного металла с усилием на шарик меньшим максимально допустимого для достижения максимальной твердости требуется выполнение большего числа проходов, причем при нагрузке на шарик менее 92 % от P_{max} максимальная твердость достигается независимо от числа проходов. Таким образом, в рассмотренном случае оптимальным вариантом следует считать обкатку в один проход с усилием на шарик 7600 Н.

Во второй серии опытов изучалась влияние технологических схем комбинированного упрочнения (наплавка + отпуск + обкатка и наплавка + обкатка) на глубину упрочненного слоя.

После выполнения каждой из указанных технологических операций измерялась твердость поверхности HV_{пов.} образцов. После обкатки дисковый образец с наплавленным металлом с помощью электроискровой резки разделялся на 16 частей и при послойной шлифовке (0,15 мм на сторону) в сочетании с замерах твердости определялась глубина упрочненного обкаткой поверхностного слоя. При этом за глубину упрочненного слоя принимали

расстояние от поверхности, на котором твердость становилась равной твердости основы $HV_{осн.}$ (наплавленного металла). Определяли также эффективную глубину упрочненного слоя, как расстояние от поверхности на котором твердость находилась в пределах $HV_{пов.} - (HV_{пов.} - 150)$ и рассчитывали степень повышения поверхностной твердости после деформационного упрочнения по формуле:

$$\left[\frac{HV_{пов.} - HV_{осн.}}{HV_{осн.}} \right] \cdot 100\% .$$

В результате проведенных исследований установлено, что поверхностная твердость наплавленного слоя после деформационного упрочнения возрастает до $HV 1160$, как в случае упрочнения наплавленного металла и металла после отпуска, так и наплавленного металла без термообработки, хотя их твердость в исходном состоянии перед обкаткой существенно различается ($HV 870$ и $HV 730$ соответственно). Это определяет и разную степень повышения поверхностной твердости – 33 % в первом случае и 59 % во втором. Полученные данные указывают на наличие зависимости степени повышения поверхностной твердости от исходной структуры деформированного металла. Высокий прирост упрочнения наплавленного металла связан с тем, что на упрочнение от пластической деформации накладывается упрочнение от превращения остаточного аустенита в мартенсит. По величине, достигаемой после деформационного упрочнения твердости, наплавленный металл типа 9Х4В2М8ФЮ приближается к сплавам КВ-6, КВ-8, твердость которых $HV 1300-1350$.

Глубина упрочненного слоя для первой технологической схемы составляет 1,5 мм, для второй 2,1 мм, т.е. наплавленный металл с меньшей исходной твердостью упрочняется на большую глубину. При этом эффективная глубина упрочненного слоя, как в том, так и в другом случае одинакова – 0,6 мм.

Исходя из полученных экспериментальных данных, технологическую схему комбинированного упрочнения наплавленного слоя, включающую наплавку, отпуск и обкатку можно рекомендовать для валков холодной прокатки сталей, работающих при высоких контактных напряжениях, когда кроме высокой твердости и износостойкости относительно тонкого рабочего поверхностного слоя необходима и достаточно высокая твердость подложки.

При разработке оборудования для обкатки наплавленного слоя валков задавались следующими исходными условиями:

- Производство мелкосерийное, при отсутствии возможности равномерной нагрузки оборудования.
- Бочки валков для прокатки керамической пленки гладкие, цилиндрические, бурты и фланцы отсутствуют.
- Деформирующий инструмент – шарик.
- Оборудование для обкатки должно обеспечивать контакт деформи-

рующего инструмента с обрабатываемой поверхностью с приложением необходимого нормального усилия, осевое перемещение деформирующего инструмента и одновременно – вращение вала.

Исходя из первого и последнего условий, разработка специализированного оборудования нецелесообразна, так как технологические операции вращения вала и осевое перемещение формирующего инструмента могут быть осуществлены с использованием имеющихся у заказчика металлообрабатывающих станков. Наиболее полно технологическим требованиям отвечает токарный станок модели ИК62. Поэтому задача в данном случае заключалась в разработке и привязке к имеющемуся оборудованию специализированного приспособления для обкатки.

По количеству обкатывающих шариков приспособление может быть одно-, двух- и трехшариковым. Приспособления с одним шариком по конструкции наиболее просты. Их особенность заключается в одностороннем приложении усилия при обкатки к упрочняемой детали, которое полностью передается станку, в суппорте которого приспособление крепится, как резец. Приспособлением с одним шариком нельзя развить требуемые усилия из-за опасности искривления детали или быстрого изнашивания направляющих и подшипников шпинделя станка.

В приспособлении с двумя шариками усилие при работе не передается на шпиндель и направляющие станка, а уравниваются внутри самой конструкции.

Однако их нормальная работа требует обеспечения строгой соосности приложения усилий.

Наиболее приемлемым, на наш взгляд, для обкатки валков с приложением больших нормальных усилий на шарик является приспособление, выполненное по схеме с тремя шариками и расположением их относительно друг друга под углом 120 градусов. При этом обеспечивается равномерное распределение усилий обкатки на все три шарика и отсутствие нагрузок на подшипники шпинделя и направляющие станка.

Усилие обкатки может быть создано пневматическим, гидравлическим или винтовым механизмом. В разработанном нами приспособлении использован пружинный механизм, достоинством которого является его простота и независимость от других приводов. Тарельчатые пружины механизма тарируются, и необходимое усилие устанавливается по нониусу.

НАПЛАВКА ПОД СЛОЕМ ФЛЮСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНИЗМА ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧИ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ

ЗЕЛЕНКОВСКИЙ А.А.

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

Механизированная сварка и наплавка под слоем флюса нашла широкое применение при изготовлении ответственных сварных конструкций для изготовления крупногабаритных изделий, строительных конструкций, труб и т.д. из сталей, никелевых сплавов, меди, алюминия, титана и их сплавов, которая имеет следующие преимущества [1]:

- высокое качество сварных соединений;
- высокая производительность;
- отсутствие разбрызгивания электродного металла;
- высокие механические свойства сварных соединений;
- возможность механизации и автоматизации всего цикла сварки.

Сварка и наплавка под флюсом ведется на повышенных по сравнению с ручной дуговой плотностях тока ($25 - 100 \text{ А/мм}^2$) Использование больших сварочных токов резко повышает глубину проплавления основного металла и обеспечивает сварку металла повышенных толщин. Но использование больших токов приводит к увеличению зоны термического влияния, повышенному нагреву деталей, что приводит к образованию внутренних напряжений и некоторому ухудшению механических свойств зоны термического влияния [2].

Наиболее эффективным в настоящее время и широко развивающимся методом снижения зоны термического влияния является управляемый перенос электродного металла. Данный метод позволяет управлять тепловложением в процесс сварки.

Управляемый перенос можно осуществить с помощью нестационарных импульсных процессов, которые реализуются различными техническими средствами. Первый – это управление переносом электродного металла, основанный на импульсном питании сварочной дуги, второй – механическое программирование перехода капли в сварочную ванну при помощи импульсной подачи сварочной проволоки [3].

Импульсная подача сварочной проволоки не требует дорогих, быстродействующих импульсных источников питания, как в случае импульсного питания дуги. Сварка может осуществляться имеющимися на предприятии источниками питания. Достаточно оборудовать сварочный пост механизмом импульсной подачи сварочной проволоки [4].

Процесс сварки и наплавки с импульсной подачей сварочной проволоки имеет следующие преимущества:

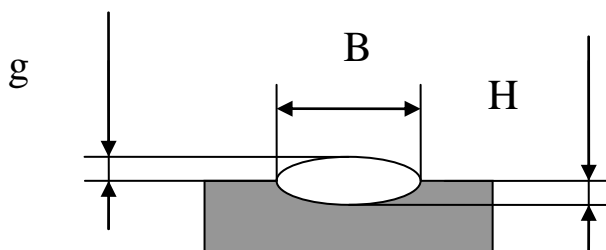
– во-первых, данный процесс сварки позволяет задать размер капли переносимого металла – шагом подачи сварочной проволоки; тем самым повышая производительность труда за счет возможности увеличения частоты подачи проволоки.

– во-вторых, более высокая концентрация энергии дуги, большая, чем при сварке под флюсом с постоянной подачей сварочной проволоки, чем при ручной дуговой сварке и сварке в инертных газах, позволяет обеспечивать меньшую зону термического влияния, высокую скорость сварки и повышение производительности труда;

– в-третьих, снижаются массогабаритные размеры оборудования для подачи проволоки.

Целью данной работы являлось исследование возможности применения механизма импульсной подачи сварочной проволоки для наплавки под слоем флюса, исследования основных размеров сварного шва и его геометрию. Работу выполняли путем автоматической наплавки валиков на пластины размером 50×150 мм, толщиной 5 мм из стали Ст3, проволокой диаметром 1,2 мм при использовании механизма импульсной подачи сварочной проволоки [5], блока автоматического регулирования БАРС-2В и источника питания ВСЖ-303. Наплавка производилась на жесткой характеристике.

На разрезанных образцах из пластин после их обработки измеряли приведенные на рисунке 1 основные параметры: ширину шва, глубину проплавления и толщину шва.



g – высота шва; B – ширина шва; H – глубина проплавления

Рисунок 1 – Основные параметры сварного шва

При проведении эксперимента изменялось расстояние между захватами (L) у механизма импульсной подачи сварочной проволоки на одних и тех же режимах сварки, напряжение (U) и сила тока (I).

Полученные результаты экспериментальных исследований сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований

№ образца	I, А	U, В	V _{св}	V _{под}	Вылет, мм	L, мм	U _{хх} , В	H, мм	B, мм	g, мм	f, Гц
1	80	35	4	4	15	130	38	0,3	9,4	2,9	56
2	130	33	4	6	15	130	38	1,9	14,3	2,6	74
3	160	33	4	8	15	130	38	1,7	16,4	2,7	123
4	130	33	6	6	15	130	38	1,4	11,5	2,1	74
5	160	33	6	8	15	130	38	0,8	12,9	2,6	123
6	140	33	2	6	15	130	38	2,8	18,9	3,1	74
7	80	35	6	4	15	130	38	1,1	6,8	2,1	56
8	60	38	4	4	15	150	38	1	5,9	2,4	56
9	80	36	4	6	15	150	38	0,7	9,3	2,4	74
10	110	35	4	8	15	150	38	1,9	14,1	3,2	123
11	110	34	6	6	15	150	38	1,5	9,8	2,2	74
12	110	34	6	8	15	150	38	1,2	7,3	2,2	123
13	110	33	2	6	15	150	38	2,2	16,5	3,8	74
14	80	36	6	4	15	150	38	0,3	6,3	2,9	56
15	50	35	4	4	15	170	38	0,4	4,1	2,4	56
16	80	35	4	6	15	170	38	0,8	9,3	2,7	74
17	90	34	4	8	15	170	38	0,7	11,8	2,6	123
18	80	35	6	8	15	170	38	1	9,1	2,1	123
19	90	35	2	6	15	170	38	0,7	16,2	3,7	74
20	50	37	6	4	15	170	38	0,5	3,9	1,7	56

Согласно полученным результатам строим графики зависимости, показанные на рисунках 2 и 3.

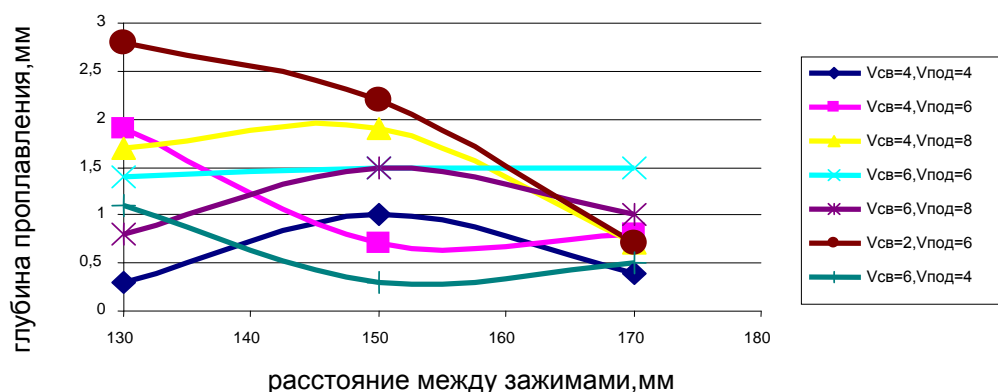


Рисунок 2 – График зависимости глубины проплавления от расстояния между зажимами (при U_{хх} = 38 В)

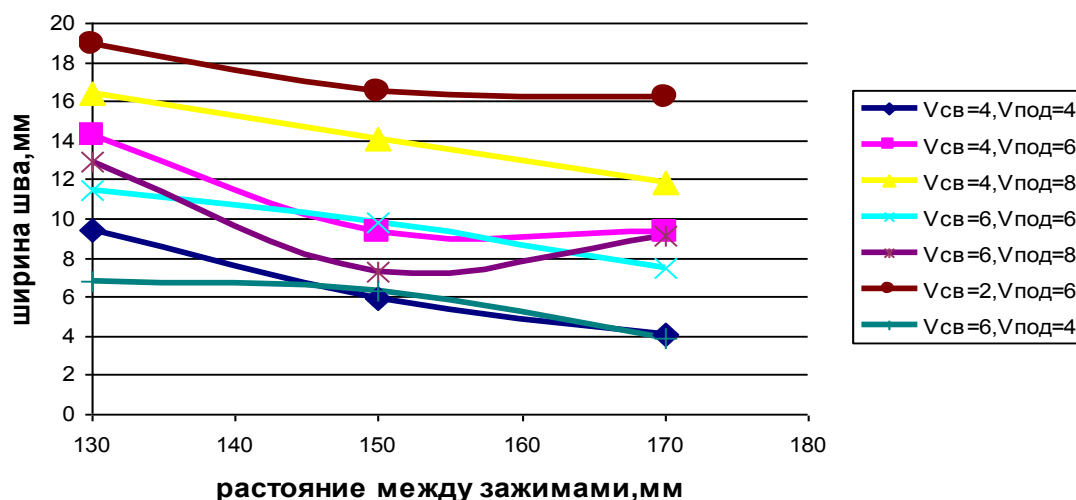


Рисунок 3 – График зависимости ширины шва от расстояния между зажимами (при $U_{xx} = 38$ В)

Вывод. Исследование процесса наплавки под слоем флюса с импульсной подачей сварочной проволоки показала, что при использовании данной технологии происходит снижение ширины зоны термического влияния, увеличение коэффициента наплавки. Жесткая характеристика источника питания и нестационарная подача проволоки позволяет изменять глубину проплавления в более широком диапазоне, чем с постоянной подачей сварочной проволоки. Поэтому целесообразно применить технологию сварки под флюсом с импульсной подачей сварочной проволоки для изготовления сварных соединений и ремонтно-восстановительных работ, для чего необходимо провести дополнительные исследования.

Библиографический список

1. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / Под общ. ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. – М.: Машиностроение, 2004. – С. 24.
2. Копаев Б.В. Применение нетрадиционных материалов при дуговой сварке в защитных газах и под флюсом // Сварочное производство. – 1995. – № 3. – С. 30 – 31.
3. Федько В. Т., Брунов О. Г., Солодский С.А., Крюков А. В, Соколов П. Д.. Методы борьбы с разбрызгиванием при сварке в CO_2 . Технология машиностроения. – 2005. – № 5. – С. 24 – 30.
4. Патон Б.Е., Лебедев В.А. и др. Анализ технических и технологических возможностей импульсной подачи сварочной проволоки в процессах дуговой сварки и наплавки // Сварочное производство. – 20002. – № 2. – С. 24 – 31.
- 5 Патент РФ № 2154560 Механизм импульсной подачи сварочной проволоки / Брунов О.Г., Федько В.Т., Васильев В.И.

КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРКИ В ЩЕЛЕВУЮ РАЗДЕЛКУ

КРАМПИТ А.Г., КРАМПИТ Н.Ю.

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

В настоящее время с ростом сварочного производства совершенствование способов и технологий при сварке крупногабаритных конструкций остается актуальным. Особенностью сварки крупногабаритных конструкций является использование металлов больших толщин, поэтому технологический процесс предусматривает разделку кромок. Наибольшее число технологических ошибок возникает на стадиях подготовки кромок и стыков, что является основными причинами дефектов сварных соединений, поэтому сварка в щелевую разделку остается одним из эффективных способов решения данной проблемы.

В работе на основе анализа существующих технологий представлена классификация сварки в щелевую разделку.

Интерес к сварке в щелевую разделку начал появляться в 60-х годах XX века, когда проводились исследования сварки под флюсом толстолистового металла без разделки кромок с гарантированным зазором [1]. Опыт применения сварки в щелевую разделку в защитных газах впервые представлен в работе [2], где показано применение узкой «I-образной разделки» при сварке толстолистовой стали. На протяжении 50 лет в центральных журналах периодически публиковались материалы по данной теме как советских, так и зарубежных авторов [3 – 14].

Сварка в щелевую разделку характеризуется следующими преимуществами:

- значительная экономия ресурсов (электродной проволоки, электроэнергии);
- повышение эффективного КПД источника нагрева;
- снижение временных затрат на подготовку кромок;
- уменьшение трудоемкости сварочных операций;
- снижение сварочных деформаций;
- уменьшение зоны термического влияния;
- улучшение механических свойств сварного соединения;
- улучшение условий удержания сварочной ванны;
- улучшение формирования сварного шва в пространственных положениях, отличных от нижнего.

Однако у существующей технологии сварки в щелевую разделку есть ряд существенных недостатков, которые снижают возможность ее широкого использования:

- необходимость точно направлять электрод строго по центру зазора (во избежание «перекидывания» дуги на одну из стенок зазора или закорачивания сварочного мундштука или наконечника);
- необходимость поддерживать постоянный вылет электрода по мере заполнения узкого зазора;
- наибольшая вероятность образования дефектов сварных швов (образование пор и несплавлений сварного шва с кромками разделки);
- снижение устойчивости горения дуги (влияние ферромагнитных масс и эффекта магнитного дутья);
- повышенные требования к качеству сборки соединения;
- особые требования к конструкциям сварочных головок.

Проведенный анализ литературных источников показал возможность классификации сварки в щелевую разделку (рисунок 1).

Предложено классифицировать по следующим признакам:

- по количеству валиков в слое (один валик, если заполнение слоя производится за один проход, и более одного валика, если слой заполняют за несколько проходов, или, если несколько валиков накладывают сварочными головками, расположенными последовательно друг за другом);
- по расположению контактного наконечника относительно разделки (без введения в разделку, если в разделку вводится только электродная проволока, и с введением в разделку, если в разделку вводится контактный наконечник);
- по диаметру электродной проволоки (при сварке проволоками малых диаметров (до 2 мм) возникает необходимость введения контактного наконечника в разделку, что приводит либо к расширению разделки, либо к сужению поперечных размеров токоподвода и необходимости его изоляции от случайного соприкосновения с кромками, и сварку проволоками больших диаметров (4 – 6 мм) обычно ведут без введения контактного наконечника в разделку, так как большой диаметр позволяет производить сварку на повышенном вылете электрода, при этом выполняется один слой за один проход);
- по подводу защитного газа (если осуществлять сварку с подводом защитного газа соосно с электродом, то электрод может располагаться как над изделием, так и в разделке, и несоосно, когда сопло направляется с фронтальной части горелки);
- по способам (использующим направляющие жаростойкие токонепроводящие трубки, использующим правильные устройства, обеспечивающим изменение ввода тепла в кромки разделки).

Изменение ввода тепла в кромки разделки за счет различных способов сварки представлено на рисунке 2.

Для надежного сплавления электродного металла с кромками разделки применяют:

- сварку с раскладкой валиков (один валик формируется возле одной кромки, другой - возле второй кромки);
- сварку с колебательными движениями электрода (поперечные коле-

бания горелкой, вращательные движения контактным наконечником, вращательные движения проволокой);

– сварку деформированным электродом (зигзагообразным электродом или электродом, совершающим сложные крестообразные движения);

– импульсно-дуговую сварку (программное изменение сварочного тока и напряжения).

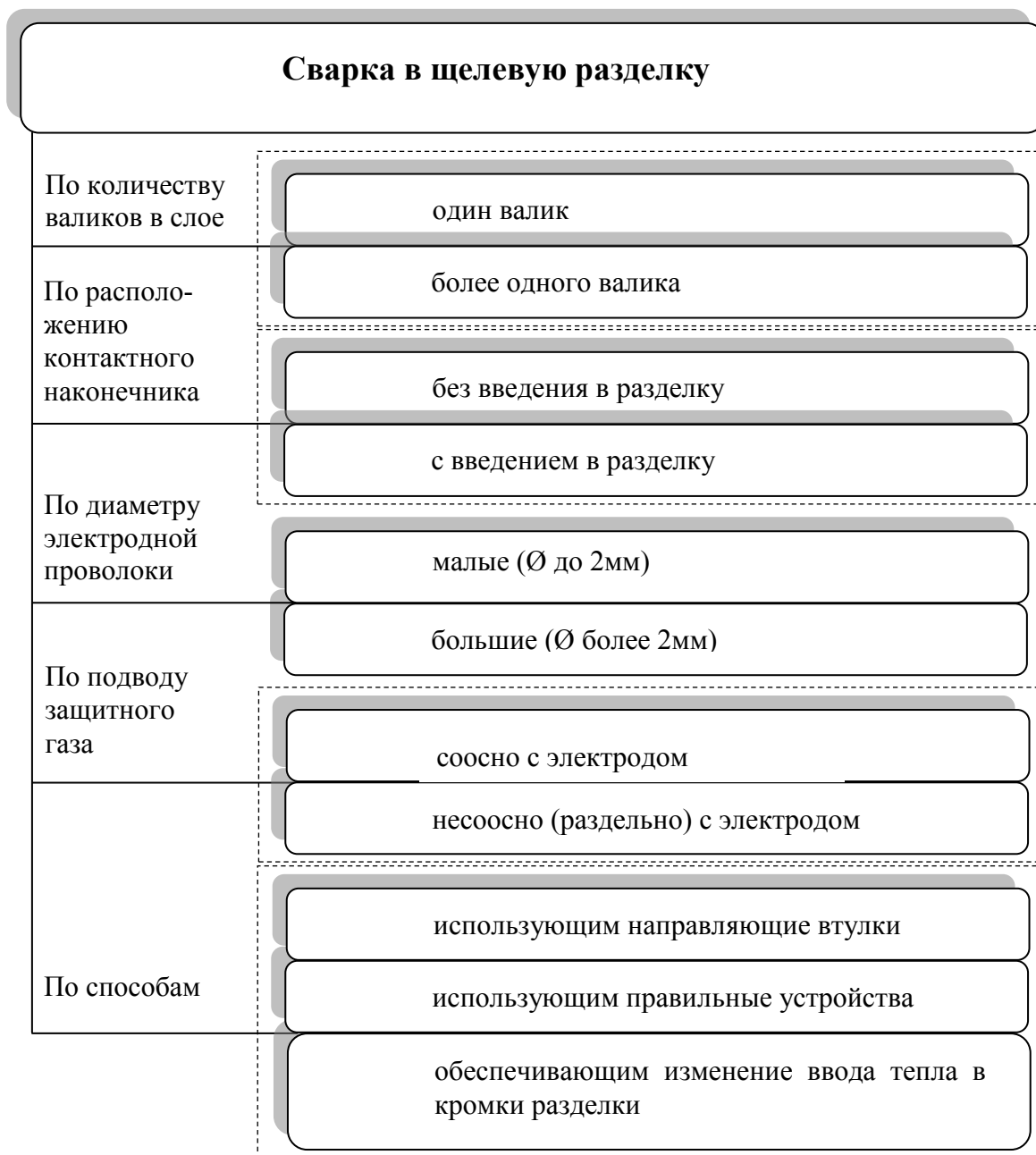


Рисунок 1 – Классификация сварки в щелевую разделку

По мнению авторов, способы импульсно-дуговой сварки, к которым относится сварка с импульсным питанием сварочной дуги, создают наиболее благоприятные условия для управления процессом и позволяют повысить

качество сварки в щелевую разделку. Сварка с импульсным питанием плавящимся электродом имеет существенные технологические преимущества по сравнению с обычной сваркой плавящимся электродом в защитных газах: управляемый и направленный перенос электродного металла; малые потери металла на угар и разбрызгивание; возможность сварки длинной дугой на низких режимах; возможность выполнения сварки во всех пространственных положениях; упрощение техники сварки; уменьшение сварочных деформаций; улучшение качества сварных соединений; облегчение начального зажигания дуги; улучшение санитарно-гигиенических условий труда. Благодаря высокой пространственной стабилизации дуги этот процесс может быть успешно применен для сварки стыковых соединений толстолистовых конструкций с узкощелевой подготовкой кромок.

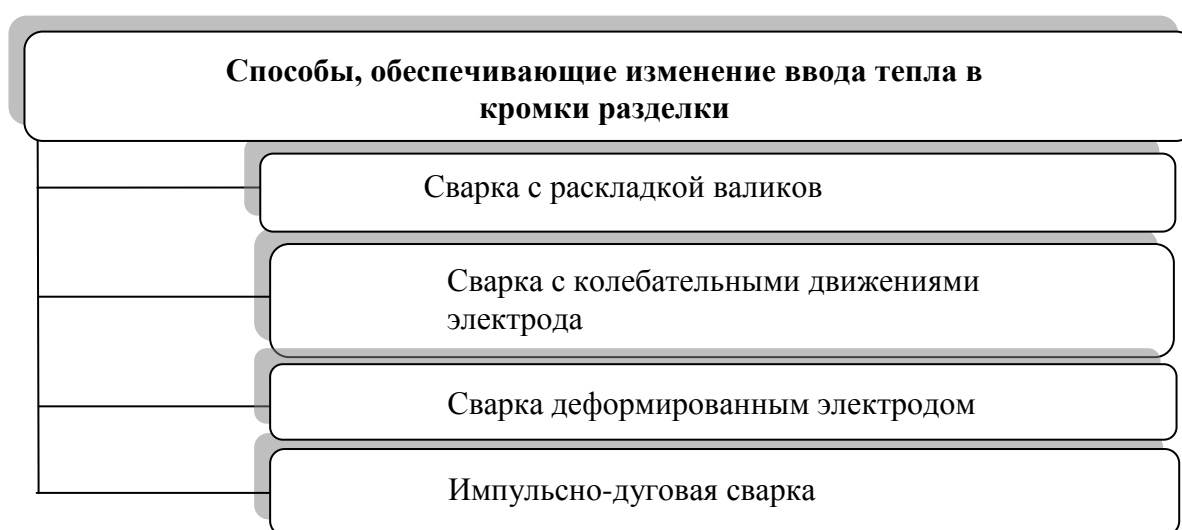


Рисунок 2 – Классификация способов, обеспечивающих изменение ввода тепла в кромки разделки

Исследования, проведенные в ЮТИ ТПУ по сварке в щелевую разделку при импульсном питании сварочной дуги, показали хорошие результаты [15]. Получено качественное формирование сварного соединения, внешний вид валика имеет форму вогнутого мениска, которая является наиболее благоприятной при наложении последующих слоев. Сварные соединения обладают высокими механическими свойствами.

Таким образом, можно рекомендовать при сварке в щелевую разделку использовать процесс с импульсным питанием сварочной дуги.

Выводы:

1. Приведены преимущества и недостатки сварки в щелевую разделку.
2. На основе анализа существующих способов предложена классификация сварки в щелевую разделку.
3. Рассмотрены способы, обеспечивающие изменение ввода тепла в кромки разделки.

4. Полученные данные позволяют рекомендовать при сварке в щелевую разделку способ сварки с импульсным питанием сварочной дуги.

Библиографический список

1. Островская С.А. Сварка стыковых швов без разделки кромок с обязательным зазором // Автоматическая сварка. – 1950. – № 2. – С. 12 – 15.
2. Ворновицкий Н.Н., Конторовский А.З. Газоэлектрическая сварка плавящимся электродом толстолистовой стали в узкую разделку. // Сварочное производство. – 1967. – № 2. – С. 45 – 48.
3. Монтевски Э. Узкощелевые соединения толстостенных изделий. // Автоматическая сварка. – 1969. – № 7. – С. 14 – 18.
4. Бельчук Г.А., Титов Н.Я. Влияние режима автоматической сварки по узкому зазору на форму шва. // Автоматическая сварка. – 1970. – № 12. – С. 48 – 51.
5. Степанов В.В., Язовских В.М. Влияние параметров режима сварки на формирование шва при автоматической сварке в узкую разделку. // Сварочное производство. – 1980. – № 3. – С. 36 – 38.
6. Руссо В.Л., Евсеев В.Р. Эффективная технология сварки сталей 09Г2 и 10ХСД в углекислом газе при щелевой разделке кромок. // Сварочное производство. – 1983. – № 10. – С. 32 – 33.
7. Назарчук А.Т., Стеренбоген Ю.А. Сварка в узкий зазор в среде защитных газов и некоторые ее особенности. // Автоматическая сварка. – 1984. – №5. – С.57-62.
8. Серенко А.Н., Белоусов Ю.В., Шаферовский В.А., Корягин Е.И., Скжипчик А.Ф., Мальцева Л.Н. Тенденции развития сварки в узкий зазор (обзор) // Сварочное производство. – 1987. – № 9. – С. 15 – 18.
9. Лашкевич В.Р., Дубовецкий В.Я., Ковтуненко В.А., Соловенко С.И. Сварка металла большой толщины в узкий зазор с применением копира-присадки. // Автоматическая сварка. – 1990. – № 4. – С. 61 – 62.
10. Назарчук А.Т., Косяков В.П., Довженко В.А. Сварка сталей толщиной до 400мм. // Автоматическая сварка. – 1990. – № 7. – С. 46 – 52.
11. Павлов А.С., Штрикман М.М., Захаров В.И. Влияние параметров режима сварки в узкий зазор на образование несплавлений. // Автоматическая сварка. – 1990. – №12. – С.17-20.
12. Касаткин Б.С., Проценко К.С., Царюк А.К., Бугаец А.А., Воличенко Н.П., Левенберг Н.Е. Двухдуговая сварка под флюсом толстолистовых сталей в узкий зазор. // Автоматическая сварка. – 1991. – № 8. – С. 52 – 55.
13. Островский О.Е., Кулик В.И. Сварка больших толщин в щелевую разделку деформированным электродом. // Сварочное производство. – 1995. – № 2. – С. 2 – 5.
14. Бурашенко И.А. Сварка в щелевую разделку, конструктивные варианты сварочного оборудования. // Сварочное производство. – 2002. – № 11. – С. 25 – 28.
15. Князьков А.Ф., Крампит Н.Ю., Крампит А.Г. Разработка технологиче-

ских рекомендаций для процесса сварки в щелевую разделку при импульсном питании сварочной дуги. // Автоматизация и современные технологии. – 2008. – № 12. – С. 3 – 5.

УДК 621.791.754

САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ МАРКИ LB 52U С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Ильященко Д.П., Буцкевич А.А., Шадский С. В.

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

Химический состав сварочного аэрозоля (СА) при сварке покрытыми электродами определяется рядом факторов [1]:

– содержанием в шлаковом расплаве, образующемся в результате плавления покрытия на торце электрода, химических элементов или соединений с высокой упругостью пара (марганца, щелочных металлов, фтористых соединений и др.);

– окислительным потенциалом атмосферы дуги;

– диаметром электрода и режимом сварки (род и величина сварочного тока, напряжение дуги);

– характеристикой основности (кислотности) шлака, от которой зависит интенсивность испарения отдельных его составляющих компонентов.

Сварочный аэрозоль [2] оказывает негативное влияние (рисунок 1) на:

– органы системы дыхания. Воздействие сварочных аэрозолей может приводить к развитию профессиональных бронхитов, пневмоний, астматических ринитов и бронхиальной астмы, пневмокониозов. Пневмокониоз – основное профессиональное пылевое заболевание;

– зрительный анализатор. Сварочные аэрозоли оказывают раздражающее действие на слизистую оболочку глаз, способствуют развитию конъюнктивита;

– кожные покровы. Неблагоприятное влияние сварочного аэрозоля проявляется в виде шероховатости, огрубения и шелушения кожных покровов. Отмечается появление угрей, экзем, дерматитов;

– иммунную систему. Длительное воздействие аэрозолей снижает защитные свойства организма. У работающих отмечается увеличение дней нетрудоспособности в связи с возникновением сопутствующих заболеваний, в основном простудного характера.

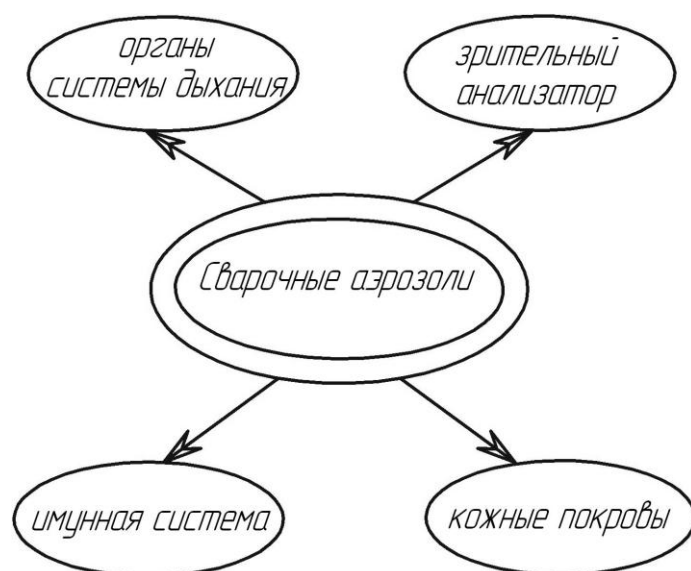


Рисунок 1 – Органы мишени, негативного воздействия сварочного аэрозоля

На качественный состав сварочного аэрозоля при дуговой сварке плавлением оказывает влияние и широко применяемые в последнее время защитные жидкости и спреи (различных производителей). Известно [3, 4], что некоторые из применяемых защитных покрытий при механизированной сварки в углекислом газе ухудшают санитарно-гигиенические условия работы, в частности, вследствие выделения веществ с неприятными запахами – смеси газов, образующихся при термической диссоциации газошлакообразующих компонентов сварочных и присадочных материалов (окись и двуокись углерода – CO, CO₂; фтористый водород – HF и др.) и за счет фотохимического действия ультрафиолетового излучения дугового разряда на молекулы газов воздуха (окислы азота – NO, NO₂; озон – O₃).

В настоящей работе были проведены исследования при РДС покрытыми электродами по защитным покрытиям. Исследования проводились с целью выявления валовых выделений пыли и газов при РДС покрытыми электродами с применением защитных покрытий в лабораторных условиях, при этом изучались: количество пыли, образующейся при сварке, и ее химический состав, содержание в пыли марганца, качественный и количественный состав дисперсионной среды, образующегося сварочного аэрозоля, содержание: оксида и диоксида углерода – CO, CO₂; оксида кремния – SiO; оксиды азота – NO, NO₂; озон – O₃ и т.д.

Сварка в РДС покрытыми электродами производилась на стальных образцах с нанесенными защитными покрытиями (различных марок) по всей поверхности, электродами LB-52U. Отбор проб воздуха для определения уровня загрязнения воздушной среды проводился в зоне дыхания сварщика. В исследованиях использовали следующее оборудование: аспиратор для отбора проб воздуха мод. 822; барометр-анероид БАММ-1; психрометр аспирационный МВ-4М; газоанализатор «ЭЛАН-CO-50».

Аспиратор работал 20 мин при каждом отборе пробы, протягивая за это время 0,2 м³ воздуха. Количество образующейся при сварке пыли определяли по разности весов фильтров, через которые осуществлялось протягивание воздуха [5]:

$$D = \frac{M_1 - M_2}{V}$$

где M_1 – масса фильтра после сварки и контрольного времени, г;

M_2 – исходная масса фильтра, г;

V – объем протянутого через фильтр воздуха, м³.

Для проведения исследования были отобраны наиболее применяемые защитные покрытия: 1 – разработанное защитное покрытие [6]; Сварпол (производитель ПКП «Промтехснаб» г. Омск); Спрей «Super Pistol en Spray» (производитель фирма Binzel); Покрытие PROT EC CE 15 L.

Полученные результаты исследования составляющих компонентов сварочной аэрозоли образующейся при РДС покрытыми электродами с применением защитных покрытий представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты анализа выделений пыли, газов и других примесей при ручной дуговой сварке покрытыми электродами с применением защитных покрытий (нанесено по всей поверхности образца)

Условия отбора проб	Наименование определяемого элемента	Единица измерения	Защитные покрытия					ПДК [7]
			без покрытия	разработанное покрытие [6]	Сварпол	PROT EC CE 15 L	Super Pistol en Spray	
Электроды LB-52U диам 3,2, Сталь 09Г2С	Сварочный аэрозоль	мг/м ³	3,6±0,9	2,3±0,6	7,7±1,9	4,5±1,1	5,9±1,5	10
	Диоксид азота		менее 0,6	менее 0,6	Менее 0,6	менее 0,6	менее 0,6	2,0
	Фтористый водород		менее 0,02	менее 0,02	менее 0,02	менее 0,02	менее 0,02	0,5
	Хромовый ангидрид		менее 0,003	менее 0,003	менее 0,003	менее 0,003	менее 0,003	0,03
	Оксид хрома		менее 0,5	менее 0,5	менее 0,5	менее 0,5	менее 0,5	3,0
	Марганец		0,15±0,03	0,07±0,01	0,25±0,05	0,09±0,02	0,22±0,04	0,6
	Углерода оксид		0,05±0,75	0,05±0,75	0,07±0,75	0,14±0,75	0,23±0,75	20,0

Анализ результатов исследований показал, что при РДС покрытыми электродами с применением защитных покрытий происходит незначительно увеличение основных составляющие компонентов сварочного аэрозоля, од-

нако превышения ПДК [7] отмечено не было.

Библиографический список

1. Ильященко Д.П., Гришагин В.М. Сварочный аэрозоль как основной фактор, влияющий на безопасность труда сварщика/ Сварочное производство. – № 5. – 2009. – С. 51 – 55.
2. Карпов Б.Д., Ковшило В.Е. (ред.). Справочник по гигиене труда. Л., Медицина, 1979 г.
3. Томас К.И., Сапожков С.Б., Федько В.Т. Исследование санитарно-гигиенических характеристик покрытий, применяемых для защиты поверхности свариваемых изделий от брызг расплавленного металла при сварке в углекислом газе// Технология металлов. – 1999. – № 1. – С. 40–44.
4. Федько В.Т., Попков А.М. Влияние защитных покрытий на санитарно-гигиенические условия труда при сварке в углекислом газе // Сварочное производство. – 1974. – № 6. – С. 56 – 58.
5. Элементы теории и технологии защиты поверхности от брызг расплавленного металла при сварке в углекислом газе: учебное пособие / В.Т. Федько, С.Б. Сапожков, П.Д. Соколов, А.П. Ястребов. – 2-е изд. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 146 с.
6. Сапожков С.Б., Зернин Е.А., Ильященко Д.П. Покрытие для защиты поверхности от налипания брызг расплавленного металла при дуговой сварке плавлением. Патент на изобретение № 2297311 (РФ) Приоритет от 09.03.2006.
7. ГН 2.2.5.1313 – 03 Предельные допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

УДК 621.791.754

О ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ПЛАВЛЕНИЕМ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Ильященко Д.П., Зернин Е.А., Смолянин А.А.

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

По данным Национального Агентства Контроля и Сварки (НАКС) [1] при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств опасных производственных объектов объем работ, выполняемых с применением ручной дуговой сварки покрытыми электродами, составляет порядка 63 %.

Несмотря на известные достоинства [2], этот способ сварки имеет недостатки, которые снижают эффективность его применения. К ним относит-

ся: низкая производительность сварки по сравнению с механизированными способами сварки; зависимость качества сварного соединения от квалификации сварщика; разная скорость плавления электрода в начале и в конце процесса; большие потери металла на угар и разбрызгивание, огарки, в сумме составляющие до 30 % массы стержня.

Разбрызгивание электродного металла сопровождается набрызгиванием его на поверхность свариваемых деталей при сварке покрытыми электродами, которое может достигать существенных значений (до 11 % массы электродного стержня). Установлено [3], что трудоемкость по отчистки поверхности свариваемых изделий от брызг расплавленного металла, составляет от 15 – 30 % от основного времени сварки.

Снизить величину набрызгивания капель расплавленного металла на поверхность свариваемых деталей можно тремя способами [4]:

- 1) снизить величину разбрызгивания:
 - разработкой систем управления переносом металла;
 - разработкой новых сварочных материалов, технологий и приемов сварки;
- 2) применением покрытий для защиты поверхности свариваемого металла от брызг расплавленного металла.

3) уменьшить величину разбрызгивания и набрызгивания путем применения защитных покрытий с активирующими добавками.

Защитные покрытия все активнее применяются при дуговой сварке плавлением, однако вопрос об их влиянии на работоспособность сварных соединений при РДС покрытыми электродами остается не изученным.

Для исследования влияния защитных покрытий на работоспособность сварных конструкций оценивали механические свойства сварных соединений (σ_B – предел прочности при растяжении, МПа; угол загиба наружу и во внутрь, C^0). Для проведения исследования были отобраны наиболее применяемые защитные покрытия: 1 – разработанное защитное покрытие [5]; Спрей «Super Pistolen Spray» (производитель фирма Binzel); Покрытие PROTEC CE 15 L. Гистограммы механических свойств сварных соединений, выполненных с применением защитных покрытий, представлены на рисунках 1 и 2.

По результатам исследований установлено, что прочностные свойства сварных соединений, выполненных с защитным покрытием и без него, различны. Механические свойства сварных соединений, выполненных с применением защитных покрытий (Спрей «Super Pistolen Spray» и PROTEC CE 15 L) предел прочности снижается, а при использовании покрытия [5] не происходит изменение прочностных свойств.

Исследование влияния защитных покрытий на величину угла загиба (наружу и вовнутрь) не показало отклонений.

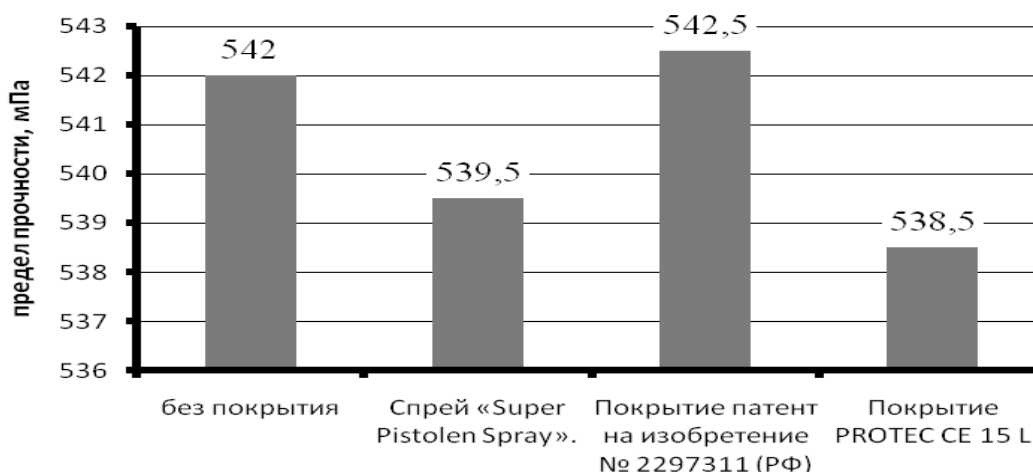


Рисунок 1 – Предел прочности при растяжении сварных соединений: труба 159×6 из стали 09Г2С (корень: LB-52U (d = 2,6 мм) заполнение: LB-52U (d = 3,2 мм))

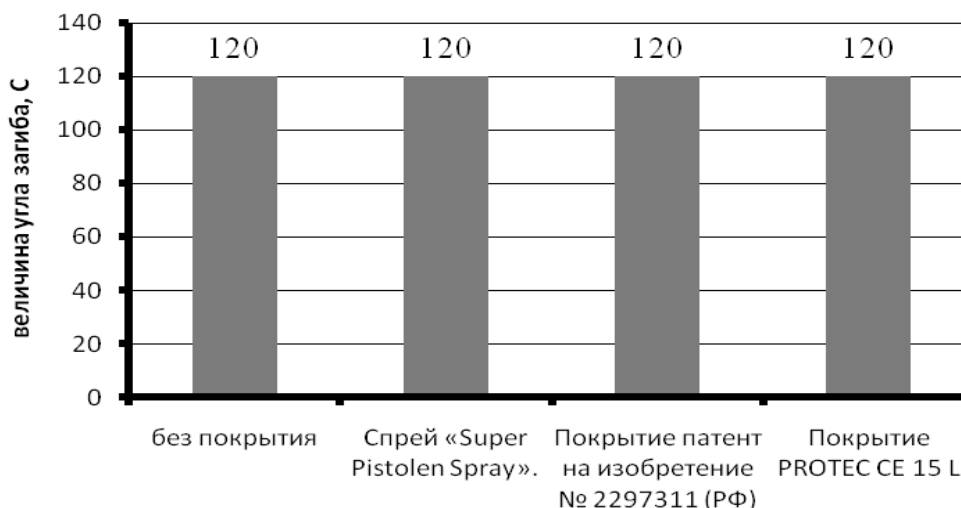


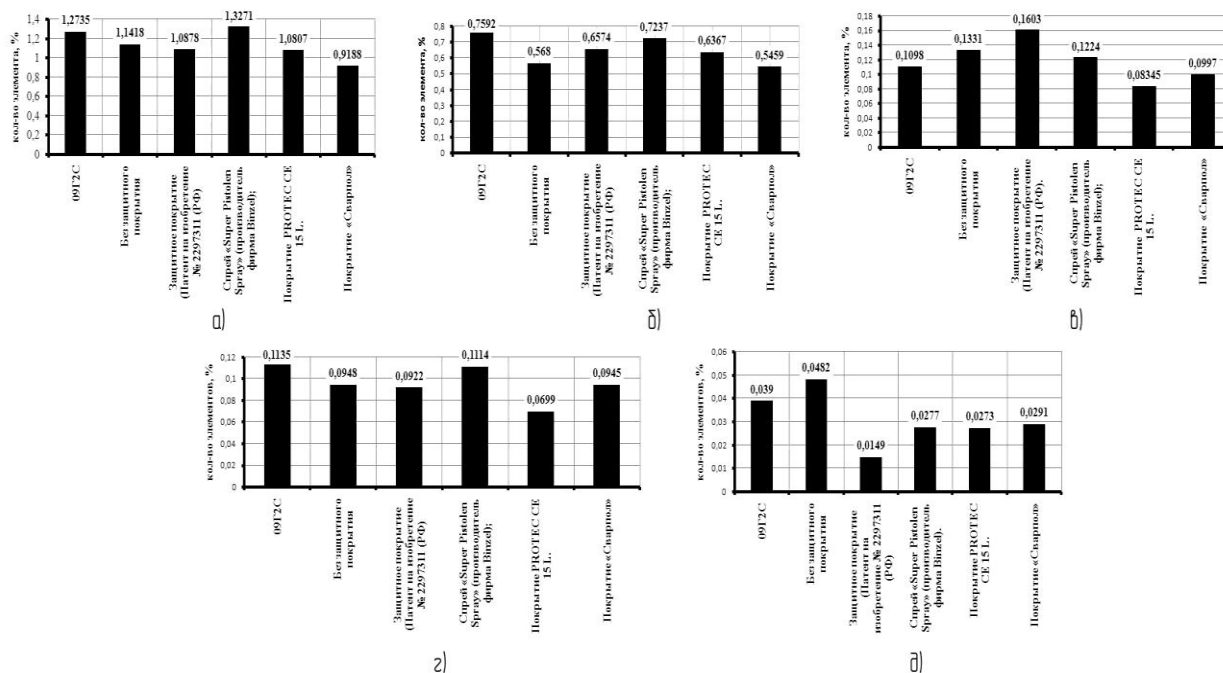
Рисунок 2 – Влияние защитных покрытий на величину угла загиба (наружу и вовнутрь) сварных соединений: труба 159×6 из сталь 09Г2С (корень: LB-52U (d = 2,6 мм) заполнение: LB-52U (d = 3,2 мм))

Однако во всех случаях применения защитных покрытий механические свойства сварных соединений не ниже допустимых значений механических свойств свариваемой стали: по ГОСТ 8732-78 «Трубы бесшовные горячекатаные» для стали 09Г2С $\sigma_B=490 - 540$ МПа, следовательно, общая несущая способность сварной металлоконструкции не снижается.

Химического состав сварного шва определялся по ГОСТ18895-81 «Металлы. Метод фотоэлектрического спектрального анализа» на последовательном рентгенофлуоресцентном спектрометре XRF-1800. Отбор и подготовка проб осуществлялись по ГОСТ7565-81 «Метод отбора проб для оп-

ределения химического состава»

Анализ экспериментальных данных показал (рисунок 3), что защитные покрытия практически не влияют или оказывают незначительное влияние на химический состав сварного шва. Это связано с тем, что объем расплавленного металла несопоставимо больше объема покрытий, попадающих в зону сварки.



а – марганец; б – кремний; в – углерод; г – хром; д – фосфор

Рисунок 3 – Химический состав сварного шва

Вывод. Применение защитных покрытий не оказывает влияния на работоспособность сварных конструкций.

Библиографический список

1. Князьков В.Л., Князьков А.Ф. Повышение эффективности ручной дуговой сварки трубопроводов. Изд-во ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2008. – С. 104.
2. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / Под общ. ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. – М.: Машиностроение, 2004.
3. D.P. P'yashenko and S.B. Sapozhkov. Splashing in manual arc coated electrode welding and methods of reducing splashing// Welding International. 2008. Vol. 22, No 12, С. 874 – 877.
4. Сабиров И.Р., Ильященко Д.П., Зернин Е.А. Применение функциональных покрытий при дуговой сварке плавящимся электродом. Новые промышленные технологии. – 2009. – № 1. – С. 7 – 9.

5. Сапожков С.Б., Зернин Е.А., Ильященко Д.П. Покрытие для защиты поверхности от налипания брызг расплавленного металла при дуговой сварке плавлением. Патент на изобретение № 2297311 (РФ). Приоритет от 09.03.2006.

УДК 621.791.92

АНАЛИЗ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННЫХ ЦИКЛОВ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ НА УСТАНОВКАХ ТЕПЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Малушин Н.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

При исследовании современных материалов, в том числе сварных соединений и наплавленного металла, имеющих сложную гетерогенную структуру, эффективно использование метода температурной микроскопии. С помощью метода температурной микроскопии можно получить сведения:

- о закономерностях протекания пластической деформации и разрушения при температурах, при которых невозможно наблюдать зарождение разрушения традиционными методами;
- о вкладе микропластической деформации в изменение структурных составляющих и зарождение трещин в металле;
- о влиянии фазовых превращений в сплавах на особенности процесса разрушения;
- о кинетике процессов старения, разупрочнения и фазовых превращений и об их влиянии на механические свойства при термосиловом воздействии;
- об изменении параметров структуры в период термосилового воздействия;
- определять прочностные и пластические характеристики, получаемые при проведении экспериментов по заданной программе в процессе термосилового воздействия в интересующий исследователя момент испытания;
- фиксировать кинетику процессов распада аустенита во время охлаждения.

Для решения различных научных и технологических задач с помощью этого метода созданы специализированные установки, разработаны специальные методики исследований. Установки для реализации метода температурной микроскопии представляют собой комплексы, в состав которых входит следующее оборудование:

- устройства для механического нагружения образцов по заданной программе (растяжение, сжатие, знакопеременный изгиб);
- оптическая система для наблюдения и фиксации микроструктуры

поверхности исследуемых образцов;

- системы для нагрева и охлаждения образцов;
- система для создания вакуума или защитной атмосферы;
- система для измерения микротвердости при различных температурах;
- системы для измерения электрического сопротивления, термофизических и других характеристик.

Наиболее известны зарубежные модели: НМ-3, НМ-4, НМ-100 фирмы «Юнион Оптикал» (Япония), «Хайтиш» фирмы «Лейтц» (Германия), «Ваку-терм» фирмы «Рейхерт» (Австрия). Эти установки оснащены качественными высокотемпературными микроскопами и системами для испытаний образцов по схемам растяжения, сжатия, изгиба в вакууме или в защитной среде с приспособлениями для измерения микротвердости, электросопротивления и др.

Отечественной промышленностью выпущены установки следующих моделей: ИМАШ-9 – для измерения микротвердости при температурах до 1100 °С; ИМАШ-10 – для испытаний на малоцикловой поперечный изгиб; ИМАШ-20 – для испытаний на активное растяжение или растяжение с постоянной нагрузкой.

Основные технические характеристики установок тепловой микроскопии:

- температурный интервал испытаний – от минус 180 до 3000 °С;
- нагрев индукционный, радиационный, электронно-лучевой и пропусканием тока через образец;
- контроль за температурой – с помощью термопар (до 1600 °С) и пирометров (до 3000 °С);
- активное растяжение со скоростью от $8 - 10^{-8}$ м/с, растяжение под действием постоянной нагрузки до 3000 Н, сжатие под действием постоянной нагрузки до 2000 Н;
- измерение микротвердости при температурах от минус 180 до 1600 °С;
- максимальное полезное увеличение микроскопа – до 800 крат.

В установках предусмотрена возможность проведения испытаний в вакууме или газовых средах.

Установки тепловой микроскопии использовались для анализа термодеформационных циклов плазменной наплавки закаливающими теплостойкими сталями высокой твердости.

В вопросе снижения материалоемкости продукции важная роль принадлежит наплавке. Из общего объема сварочных материалов для наплавки используется 8 – 10 % электродов и сплошных проволок, до 30 % порошковых проволок и практически все спеченные и порошковые ленты. Для износостойкой наплавки деталей металлургического оборудования широко используют в качестве наплавочных материалов теплостойкие хромовольфрамовые закаливающиеся стали.

В сварочном производстве остается основополагающей и приоритетной проблемой свариваемости, и в первую очередь – уточнение причин образования сварочных трещин. Высокотемпературные исследования структуры и свойств наплавленного металла необходимы для нахождения путей улучшения свариваемости существующих сталей и для создания новых хорошо свариваемых высокопрочных и специальных сталей. Существующие способы наплавки закаливаемых сталей недостаточно эффективны и трудоемки, так как для предотвращения образования холодных трещин обязательно применяется предварительный и сопутствующий высокотемпературный подогрев до температуры 350 – 700 °С и замедленное охлаждение наплавленного изделия. Получение низкопрочных и достаточно пластичных продуктов распада аустенита позволяет избежать образования холодных трещин. Однако для обеспечения высоких прочностных и служебных характеристик для данного класса сталей необходимо проведение сложной термической обработки наплавленных изделий в виде отжига – закалки – отпуска. Проведение такой термической обработки большинства крупногабаритных деталей металлургического оборудования затруднительно или практически невозможно. На многих металлургических предприятиях термообработка ограничивается низкотемпературным отпуском для снятия напряжений. Наплавленные детали после наплавки и отпуска имеют неравномерную твердость и низкую износостойкость. В итоге высокие эксплуатационные свойства наплавленного металла на основе закаливаемых хромовольфрамовых сталей используются недостаточно полно.

Поэтому повышение эффективности применения в качестве наплавочных материалов хромовольфрамовых закаливаемых сталей на основе устранения существующих недостатков технологии их наплавки является одной из актуальных задач в области наплавки деталей металлургического оборудования.

В предлагаемой работе производились исследования и разработка способа многослойной наплавки закаливаемых сталей, исключая применение высокотемпературного подогрева и последующей закалки, обеспечивающего высокую стойкость наплавленного металла против образования холодных трещин и максимально приближающего свойства металла наплавки к закаленным сталям.

В результате проведенных на кафедре МиТСП исследований установлено, что основной причиной образования холодных трещин в хромовольфрамовом металле являются закалочные явления.

Поиск и принятие новых принципиальных решений позволяет обеспечить прорыв в улучшении качества, т. е. поднять его на значительно более высокий уровень. Таким принципиально новым подходом в технологии наплавки теплостойких сталей высокой твердости является использование эффекта кинетической пластичности («сверхпластичности») в процессе мартенситного или бейнитного превращения.

В разработанных на кафедре МиТСП СибГИУ способах наплавки теп-

лостойких 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.

Проявление эффекта кинетической пластичности было отмечено при исследовании жесткозакрепленных образцов из наплавленного металла в процессе их охлаждения в момент протекания мартенситного или бейнитного превращений на установках ИМАШ-20 типа «Киргизстан» и «Ало-Тоо».

Особенностью предложенных способов наплавки является применение низкотемпературного предварительного и сопутствующего подогрева ($T_{\text{под}} = 150 - 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$). 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. Это позволяет получить наплавленный металл в закаленном состоянии без трещин и с низким уровнем остаточных напряжений.

Основой способов является строго определенный термический цикл наплавки, особенностью которого является ограниченное время пребывания наплавленного металла в высокотемпературной зоне, высокие скорости охлаждения металла в области минимальной устойчивости аустенита, сохранение металла в аустенитном состоянии до завершения процесса наплавки путем применения предварительного подогрева с температурой $M_n + (50-100) \text{ }^{\circ}\text{C}$. Для уменьшения уровня накопившихся в аустенитной области временных напряжений предложено кратковременное снижение температуры подогрева на $(20 - 100) \text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже M_n . Снижение температуры подогрева в процессе многослойной наплавки приводит к частичной релаксации временных напряжений, происходящей в основном за счет эффекта «сверхпластичности» в момент мартенситного или бейнитного превращений. Релаксация временных напряжений в интервале температур мартенситного или бейнитного превращений предотвращает образование трещин в процессе многослойной наплавки.

В качестве способа наплавки выбрана плазменная наплавка нетоковедущей присадочной проволокой. Выбор способа наплавки объясняется рядом преимуществ перед другими способами наплавки: такими, как высокая производительность, широкая возможность легирования наплавленного металла, возможность применения различных наплавочных металлов, большой диапазон регулирования ввода теплоты в основной и наплавляемый металлы, что позволяет реализовать предлагаемый термический цикл наплавки. Перечисленные положительные стороны способов плазменной наплавки не только существенно расширяют технологические возможности их применения, но и позволяют получать значительный экономический эффект за счет наплавки слоев с минимальной глубиной проплавления и сохранения перво-

начальных физико-механических свойств наплавленного металла. Положительно на увеличении твердости наплавленного металла сказывается применение в качестве защитно-легирующей среды в процессе плазменной наплавки азота и введение в шихту порошковой проволоки алюминия в определенных пределах. В процессе наплавки происходит легирование наплавленного металла азотом непосредственно из газовой фазы, что позволяет дополнительно повысить твердость рабочего слоя изделия. Алюминий вводят в состав шихты порошковой проволоки для устранения пористости за счет связывания избыточного азота в нерастворимые в жидком металле соединения, способные дополнительно упрочнять металл за счет образования мелкодисперсных частиц нитридов. 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 составляет HRC 52-57, а после отпуска на вторичную твердость и УПУО достигает HRC 64-66.

Разработанная технология позволяет упростить процесс наплавки, избежать образования трещин и максимально использовать свойства наплавленного высоколегированного металла.

Таким образом, анализ термо-деформационных циклов плазменной наплавки на установках тепловой микроскопии позволил разработать и реализовать способ повышения качества наплавленных деталей машин и механизмов в процессе их изготовления и эксплуатации, что обеспечило существенное повышение их стойкости за счет предупреждения образования холодных трещин в наплавленном слое при сохранении его высокой твердости.

УДК 621.791.4

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАРНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Малушин Н.Н.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Непрерывное усложнение конструкций и повышение уровня требований к их качеству сопровождается возрастанием трудоемкости их изготовления и себестоимости. Процесс изготовления сварных конструкций помимо сварки включает такие этапы, как получение заготовок; подготовка их под сварку; сборку; дополнительную обработку после сварки; контроль качества. Все эти этапы взаимосвязаны и во многом определяют качество сварных металлоконструкций. Одной из характерных особенностей развития современного сварочного производства являются механизация и автоматизация сборочно-сварочных операций, которые позволяют повысить производитель-

ность процессов, улучшить качество соединений и условия труда. Анализ мирового и отечественного опыта показывает, что преобладающим типом машиностроительного производства становится не массовое производство в его современном традиционном понимании (массовый выпуск малой номенклатуры изделий устойчивой конструкции), а производство широкого ассортимента постоянно обновляемой продукции, однородной лишь по основным конструктивно-технологическим параметрам. Номенклатура разнообразных изделий и моделей (типоразмеров), выпускаемых одним заводом постоянно увеличивается.

Современный машиностроительный комплекс – специализированное многоцелевое производство, гибко реагирующее на все изменения потребностей рынка в изделиях машиностроения.

Эффективное функционирование такого предприятия требует решения комплекса проблем, важнейшие из которых:

- повышение технологичности конструкций изделий;
- улучшение организации производственного процесса, в том числе развитие, специализации и кооперирования производства;
- механизация и автоматизация производственных процессов;
- коренное изменение методов и средств подготовки производства.

Одним из наиболее эффективных средств снижения трудоемкости и улучшения качества изделий является повышение уровня автоматизации и механизации за счет увеличения степени оснащенности производственных процессов, сокращения объема ручных работ путем широкого внедрения специальных и специализированных станков, автоматических линий и высокопроизводительной технологии.

Решение этой задачи может быть осуществлено на основе: комплексной типизации и нормализации технологических процессов, оборудования и оснастки, т.е. введения методов групповой технологии и разработки программируемых и за счет этого перенастраиваемых средств, т.е. гибкого оборудования.

Анализ производства сварных металлоконструкций на ряде предприятий города выявил основные недостатки существующего сварочного производства: 1) отсутствие специализированных многоцелевых производств, гибко реагирующих на все изменения потребностей рынка в изделиях машиностроения; 2) низкий уровень механизации и автоматизации сборочно-сварочных процессов; 3) широкое применение ручной дуговой сварки покрытыми электродами; 4) отсутствие специализированных производств по изготовлению типовых металлоконструкций таких, например, как балки, колонны, емкости. Основными направлениями совершенствования технологического процесса изготовления сварных металлоконструкций является устранение отмеченных недостатков.

Проведенный анализ литературных источников показал, что лидирующее положение на мировом рынке сварочного оборудования стабильно занимает оборудование для дуговой сварки (45 – 47 %). Доля его и дальше

будет возрастать в основном в результате увеличения доли оборудования для сварки порошковой и сплошной проволоками при сокращении доли оборудования для ручной дуговой сварки покрытыми электродами.

Машины для контактной сварки удерживают второе место на рынке оборудования (31 %), объемы их продаж также имеют тенденцию к росту. Доля оборудования для газовой сварки и резки сокращается, но при этом остается достаточно большой (17 %). Плазменная сварка и резка в структуре мирового рынка сварочного оборудования занимает 4 %.

В структуре европейского рынка оборудования для дуговой сварки наблюдается более высокая по сравнению с мировым рынком доля оборудования для сварки в защитных газах и более низкая доля сварки покрытыми электродами.

За последние 20 лет в промышленно развитых странах доля металла наплавленного ручной дуговой сваркой, снизилась почти в три раза и составляет сейчас 20 – 30 %. На мировом рынке сварочного оборудования и сварочных материалов аппаратура и материалы для механизированных видов сварки, в первую очередь порошковая и сплошная проволоки, уверенно теснят по объемам продаж на рынке покрытые электроды для ручной дуговой сварки. Структура мирового рынка сварочных материалов приведена в таблице 1.

На предприятиях города также наметилась тенденция расширения применения механизированных способов дуговой сварки, при этом реализуются два основных направления: 1) использование импортного оборудования и материалов; 2) применение современных отечественных разработок.

Таблица 1 – Структура мирового рынка сварочных материалов, %

Сварочные материалы	1990 г.	2003 г.
1. Покрытые электроды	38,6	32
2. Сплошные проволоки	31,3	33,5
3. Порошковые проволоки	13,5	15,5
4. Материалы для сварки под флюсом	7,6	9,0
5. Прутки и другие присадки	9,0	10,0

Ниже приведены примеры технических решений, реализуемые в настоящее время на предприятиях города при изготовлении типовых металлоконструкций балочного типа и емкостей.

Так, в технологическом процессе изготовления колонны сборку ветвей колонны рекомендовано выполнять на специализированном стенде самоходным порталом для сборки балок Н-образного сечения. Стыковые швы полок и стенок ветвей колонны выполняются автоматом КА-001 под слоем флюса.

Сварка поясных швов ветвей колонны производится на установке ВТ-2 автоматом А-1416 под слоем флюса АНЦ-1 сварочной проволокой Св-08ГА от сварочного выпрямителя КИУ-1201.

Механизированную сварку ребер жесткости, опорных плит и других

технологических элементов предлагается выполнять полуавтоматом ПДГ-516 от источника питания КИУ-501 сварочной проволокой Св-08Г2С в смеси защитных газов $Ar + CO_2$.

В технологическом процессе изготовления емкостей сборку и сварку карт рекомендовано осуществлять на специализированных установках для сборки листов в стык с самоходным сварочным порталом. Стыковые швы при изготовлении карт выполняются автоматом A2 S Mini Master фирмы ESAB и сварочным трактором АДФ-6010 под слоем флюса АН-60 сварочной проволокой Св-08ГА от сварочного трансформатора LAF 635 фирмы ESAB.

Механизированную сварку отдельных элементов конструкции (кольца жесткости, патрубки, днища) выполняют полуавтоматом ПДГ-508М от источника питания КИУ-501 в смеси защитных газов $CO_2(20\%)+Ar(80\%)$ сварочной проволокой Св-08Г2С.

Наружные продольные и кольцевые швы предложено выполнять автоматом A2 S Mini Master фирмы ESAB под слоем флюса АН-60 сварочной проволокой Св-08ГА от сварочного трансформатора LAF 635 фирмы ESAB.

A2 S Mini Master представляет собой автоматическую сварочную систему, в конструкцию которой заложены требования малой массы, компактность и универсальность применения. Система собрана из стандартных компонентов.

Сварочная головка комплектуется такими приспособлениями, как система позиционирования, система слежения по стыку, система подачи флюса. Применение электронного блока управления помогает максимально упростить работу сварщика. Тесная связь блока управления со сварочным источником обеспечивает высокую стабильность сварочного процесса.

Сварочные источники LAF имеют отличные сварочные характеристики во всем диапазоне токов и напряжений. Особенно хороши характеристики первичного зажигания и повторного зажигания дуги. Источники обеспечивают стабильную дугу, как на высоких, так и на малых величинах напряжения. Плавное регулирование напряжения дуги позволяет четко управлять сварочными параметрами.

Выпрямители LAF обеспечивают стабильность дуги при очень малых величинах напряжений.

Наличие развитой системы торговых центров фирмы ESAB, а также популярность данной марки позволяют рекомендовать производимое фирмой оборудование для использования на предприятиях города.

Сравнение технических характеристик отечественного и импортного оборудования показывает, что они в достаточной мере обеспечивают требуемое качество сварных соединений.

Экономический анализ принятых технических решений по повышению уровня механизации и автоматизации сборочно-сварочных операций на базе отечественного и импортного оборудования и материалов показал сопоставимые результаты, поэтому эти оба направления совершенствования технологического процесса изготовления сварных металлоконструкций

можно рекомендовать для применения в практику сварочного производства.

Совершенствованию технологии изготовления сварных металлоконструкций будет способствовать также создание специализированных многоцелевых производств, гибко реагирующих на все изменения потребностей рынка в изделиях машиностроения.

УДК 621.791.03

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ СВАРКЕ С ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧЕЙ В СМЕСИ ГАЗОВ

Павлов Н.В., Крюков А.В., Зеленковский А.А., Кузнецов М.А.

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

Реализация большинства сварочных процессов связана с нагревом материала свариваемых деталей при использовании сварочных источников теплоты различных видов. Условия нагрева и охлаждения металла шва и зоны термического влияния во многом определяют характер и уровень остаточных напряжений в сварной конструкции [1].

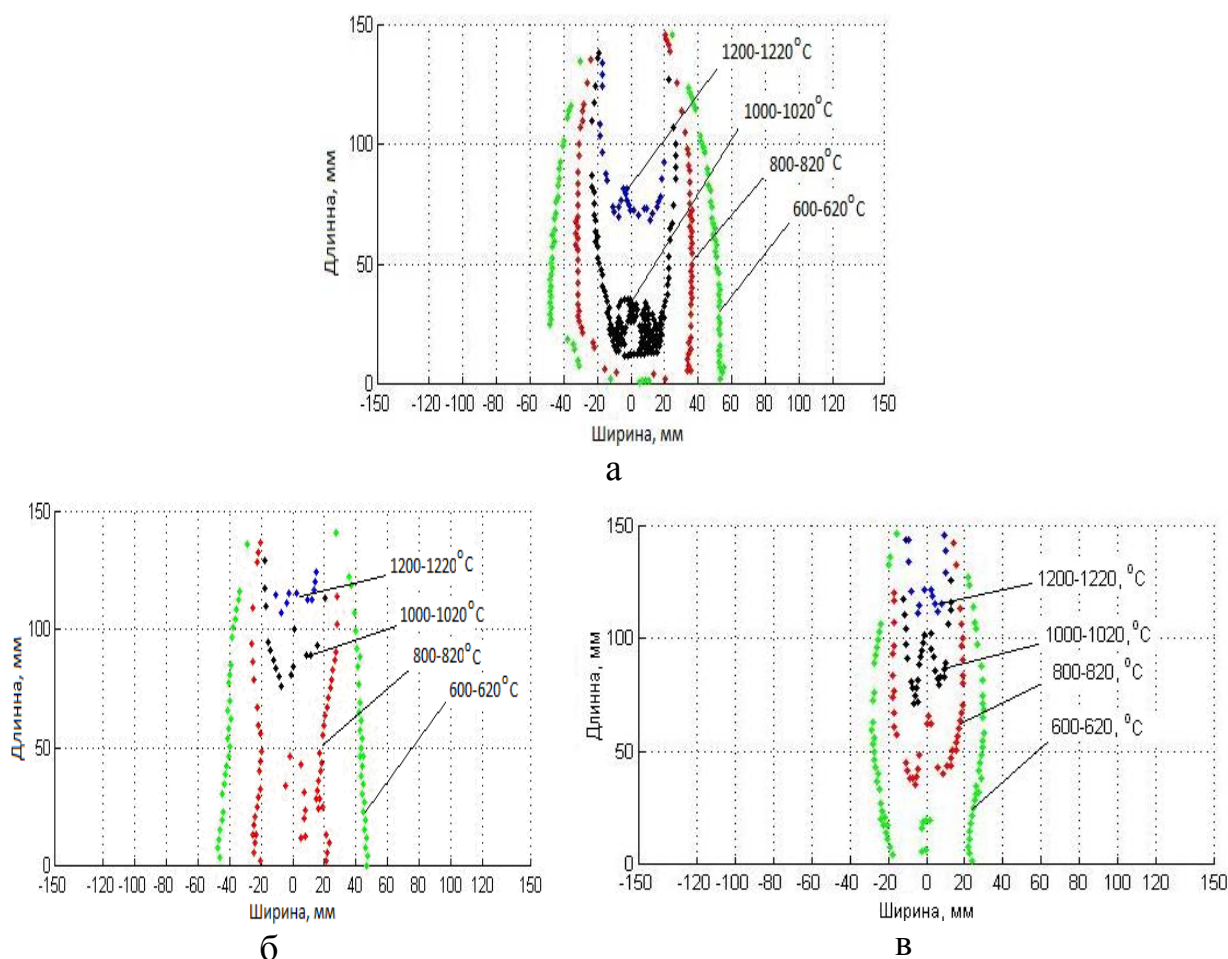
Для оценки эффективности использования механизированной сварки с применением импульсной подачи электродной проволоки (ИПЭП) в смеси газов $Ar+CO_2$, был проведен ряд экспериментов по оценке распределения температурных полей.

На основе проведенных экспериментов было установлено, что рационально использовать для сварки с импульсной подачей электродной проволоки смесь газов $Ar(70\% \pm 3\%) + CO_2(30\% \pm 3\%)$, т.к. данное процентное соотношение смеси обеспечивает минимальные потери металла на угар и разбрызгивание при стабильном управляемом процессе каплепереноса [2].

В ходе эксперимента использовались образцы из стали 30ХГСА. Для сварки использовалась автоматическая сварочная головка ГСП-2, укомплектованная в одном случае серийным подающим устройством, во втором случае механизмом импульсной подачи электродной проволоки; источник питания ВСЖ-303. Сварка производилась проволокой марки Св-08ГСМТ-О (диаметром 1,2 мм).

Регистрация полей осуществлялась с помощью тепловизора ThermoCAM P65HS фирмы FLIR. Съёмку проводили на пластине длиной 150 мм, с частотой 1 кад./с. Энергетические параметры для сварки с постоянной подачей проволоки были выбраны из условия одинаковой производительности процесса.

Для обработки экспериментальных данных использовалась методика, описанная в работе [3]. В результате чего были получены изображения распределения температурных полей (термограмм) процесса нагрева (рисунок 1).



а – сварка с постоянной подачей сварочной проволоки в среде защитных газов CO_2 ; б – сварка с импульсной подачей сварочной проволоки в среде защитных газов CO_2 ; в – сварка с импульсной подачей сварочной проволоки в среде защитных газов $70\%\text{Ar}+30\%\text{CO}_2$

Рисунок 1 – Температурные поля

Исходя из особенностей каплепереноса, при сварке с импульсной подачей электродной проволоки дуговой промежуток большую часть времени горит при токе меньшем действующего значения. И только во время короткого замыкания ток повышается до максимального значения. Но т.к. время короткого замыкания и перехода капли электродного металла в сварочную ванну меньше температуры других этапов каплепереноса, то соответственно и время действия максимального тока значительно меньше.

В связи с этим при рассмотрении процессов сварки с постоянной и импульсной подачей даже при одинаковой производительности процесса тепловложения в основной металл будет различным. Из рисунка 1, а, б видно, что при использовании импульсно-дугового процесса тепловложение меньше на 20 – 30 %.

На эффективность ввода теплоты в изделие сварочной дугой, также влияет значение эффективного КПД нагрева изделий, зависящего от состава

защитной газовой среды [1]:

- для дуговой сварки и наплавки в углекислом газе, 0,72 – 0,92;
- для дуговой сварки и наплавки в аргоне, 0,7 – 0,8.

На основе проведенных исследований (рисунок 1, б, в), можно говорить, о том, что при сварке с импульсной подачей электродной проволоки, добавление аргона в состав защитной среды влечет за собой:

- уменьшение тепловложения в основной металл;
- уменьшение зоны термического влияния на 15 – 20 %;
- уменьшение ширины шва на 5 – 8 %.

Выводы: Были определены значения распределения температурных полей для сварки с импульсной подачей сварочной проволоки в CO_2 и смеси $\text{Ar}(70\% \pm 3\%) + \text{CO}_2(30\% \pm 3\%)$.

Библиографический список

1. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов по спец. «Оборудование и технология сварочного производства» // Под ред. В.В. Фролова. – М.: Высш.шк., 1988. – 559 с.
2. Павлов Н.В., Крюков А.В., Зернин Е.А. Сварка с импульсной подачей электродной проволоки в смеси газов // Тр. международной школы-семинар для магистрантов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Хорста Герольда «Новые технологии, материалы и инновации в производстве». – Усть-Каменогорск, Казахстан, 2009. – С. 124-125.
3. Чинахов Д.А., Давыдов А.А., Нестерук Д.А. Методика обработки температурных полей при сварке плавлением / Сб. тр. Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора А.А. Воробьева «Становление и развитие научных исследований в высшей школе»: – Том 2 // – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 462 с.

УДК 621.791.03

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОГО ДИАПАЗОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СВАРКИ С ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧЕЙ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ В СМЕСИ ГАЗОВ

Павлов Н.В., Крюков А.В., Зеленковский А.А., Кузнецов М.А.

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

Одним из перспективных способов уменьшения величины потерь электродного металла на угар и разбрызгивание, является управление переносом электродного металла в сварочную ванну посредством импульсно-

дуговых технологий, и в частности, с помощью импульсной подачи сварочной проволоки [1, 2].

Недостатком данного способа, препятствующим широкому применению в промышленности, является узкий диапазон регулирования параметров сварки [3].

Данную проблему можно решить, используя в качестве защитной среды смесь газов $Ar + CO_2$. Это позволит за счет увеличения геометрических размеров дуги [4] стабилизировать пространственное положение капли в следствии чего увеличить диапазон регулирования параметров сварки.

На основе проведенных экспериментов было установлено, что рационально использовать для сварки с импульсной подачей электродной проволоки смесь газов $Ar (70\% \pm 3\%) + CO_2 (30\% \pm 3\%)$, т.к. данное процентное соотношение смеси обеспечивает минимальные потери металла на угар и разбрызгивание при стабильном управляемом процессе каплепереноса [5].

Для определения стабильного диапазона регулирования энергетических параметров процесса сварки для данного соотношения смеси, был проведен ряд экспериментов.

Производилась наплавка валиков металла на поверхность пластины стали марки Ст3 (толщиной 6 мм) с использованием:

- автоматической сварочной головки ГСП-2, укомплектованной механизмом импульсной подачи [5];
- источника питания сварочной дуги ВСЖ-303;
- смесительного оборудования.

Сварка производилась проволокой марки Св-08ГСМТ-О (диаметром 1,2 мм).

В процессе проведения экспериментов варьировались следующие параметры:

- вылет электродной проволоки (10 – 25 мм);
- расстояние между захватами (140 – 160 мм).

По результатам экспериментальных данных установлено (рисунок 1), что использование в качестве защитной среды смеси газов ($Ar(70\% \pm 3\%) + CO_2(30\% \pm 3\%)$) позволило:

- расширить область стабильного протекания процесса при вылете электрода 10-15мм, на 10%;
- увеличить пределы регулирования сварочного тока на 20 – 25 %.
- ограничить диапазон регулирования вылета электрода от 10 до 15 мм, поскольку увеличение вылета до 20 мм и более влечет за собой дестабилизацию процесса сварки – процесс становится неуправляемым.

Вывод: Были определены пределы регулирования параметров режимов сварки, обеспечивающие стабильность процесса сварки, за счет использования смеси газов $Ar(70\% \pm 3\%) + CO_2(30\% \pm 3\%)$.

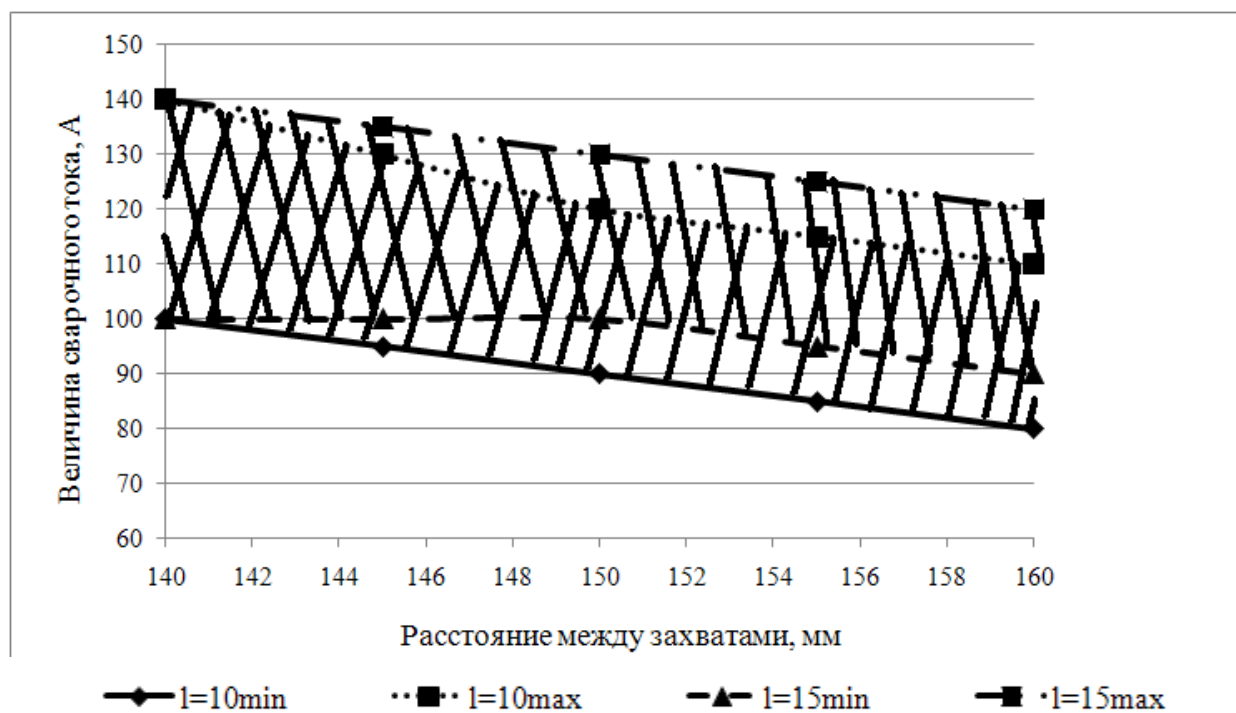


Рисунок 1 – Влияние расстояние между захватами и вылета электродной проволоки на величину сварочного тока

Библиографический список

1. Федько В.Т., Брунов О.Г., Крюков А.В., Седнев В.В. Оптимизация геометрии задающего устройства для импульсного задающего механизма с квазиволновым движением проволоки // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т.308. № 4. – С. 132 – 134.
2. Федько В.Т., Брунов О.Г., Соколов П.Д. Сварка с импульсной подачей сварочной проволоки как частный случай импульсно-дуговой сварки // Сварочное производство. – 2006. – № 7. – С. 6 – 8.
3. Крюков А.В. Повышение эффективности механизированной сварки в CO_2 за счет применения импульсной подачи электродной проволоки. Автореферат. – Барнаул, 2008, с. 15.
4. Языков Ю.Ф., Алексина И.В. Преимущества сварки в защитных газовых смесях // Сварочное производство. – 2008. – № 9. – С. 29 – 30.
5. Павлов Н.В., Крюков А.В., Зернин Е.А. Сварка с импульсной подачей электродной проволоки в смеси газов // Труды международной школы-семинар для магистрантов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Хорста Герольда «Новые технологии, материалы и инновации в производстве». – Усть-Каменогорск, Казахстан, 2009. – С. 124-125.
6. Патент РФ на изобретение № 2254969 Механизм импульсной подачи сварочной проволоки/ Брунов О.Г., Федько В.Т., Крюков А.В. и др. Оpub. 27.06.2005. Бюл. № 18.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОДОВ

Полторацкий Л.М, Рудаков С.Г., Пронякин А.Ю.

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

Согласно традиционной технологии электродного производства в качестве связующего используется калий-натриевое жидкое стекло, влияющее на основные технологические операции – опрессовку и термическую обработку электродов. Связующее – жидкое стекло – делает покрытие готового электрода прочным и в некоторой степени влагостойким. Раствор жидкого стекла характеризуется рядом контролируемых параметров: модулем, плотностью, вязкостью. Получают раствор жидкого стекла разваркой силикатной глыбы во вращающемся автоклаве с подачей пара в рабочий объем. Пар подают до тех пор, пока в автоклаве не установится давление, равное давлению пара в сети, после чего пуск пара прекращают. Основные технологические параметры процесса разварки калий-натриевой силикатной глыбы в автоклаве объемом 3,2 м³: давление пара 0,55 МПа; масса глыбы 1,2 т; объем воды 0,7 м³; модуль, плотность и вязкость жидкого стекла соответственно 2,85 – 3,0, 1,45 – 1,49 г/см³, 0,85 – 1,0 Па с; время разварки 2,5 – 3,5 ч; температура разварки 160 – 180⁰С.

С целью снижения затрат на производство электродов и утилизацию отходов (пыль-унос) ферросплавного производства предлагается инновационная технология по использованию технического жидкого стекла в качестве связующего обмазочной массы. Техническое жидкое стекло можно получать прямым растворением кремнеземсодержащего компонента в едких щелочах. Для приготовления калий-натриевого жидкого стекла применяли гидроксиды калия и натрия в соотношении 75:25.

В качестве сырья для производства связующего используется микрокремнезём конденсированных отходов сухих газоочисток. Пыль газоочисток характеризуется низкой насыпной массой (100 – 200 кг/м³), которая при искусственном уплотнении (вибрацией в течение 30 с) увеличивается до 250 – 300 кг/м³, плохо смачивается водой, имеет низкую абразивную способность, неоднородность состава – содержание SiO₂ изменяется от 86,1 до 93,3 %; наличие частиц крупных классов – размер частиц колеблется от 50·10⁻⁶ м до 250·10⁻⁶ м; повышенное содержание свободного углерода – 0,5 – 3,0 % масс. при высоком индексе активности – 98,5 %.

Исследовали влияние концентрации раствора NaOH, соотношение твердого вещества и жидкости, температуры, длительности гидротермальной обработки на процессе синтеза силиката натрия – технического жидкого

стекла, на двух образцах кремнезёмсодержащей пыли сухих газоочисток при содержании в образцах аморфного SiO_2 – 86,1 и 93,3 % масс., изменении: концентрации NaOH 10 – 40 % масс., температуры 65 – 95 °С, соотношения твердого вещества: жидкости, равном 1:0,6 – 1:2,0, времени обработки 60 – 180 мин. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Синтез технического жидкого стекла

Температура обработки, °С	Время обработки, мин.	Соотношение твердого вещества : жидкости	Степень растворимости SiO_2 от общего SiO_2 , % масс.	Наличие коагуляции
80	180	1:1,3	78,1	нет
90	90	1:1,3	92,6	коагуляция
92	60	1:1,6	92,5	нет
95	60	1:1,4	91,6	коагуляция
98	60	1:1,6	91,0	коагуляция
95	60	1:2,0	70,1	нет
95	60	1:1,2	92,7	нет
95	60	1:1,1	93,7	нет
95	60	1:0,6	90,1	коагуляция

Испытания показали, что в раствор переходит от 70,1 до 93,7 % масс. кремнезёма, содержащегося в пыли и практически все примеси CaO , MgO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . ТЖС представляло собой вязкую жидкость серого цвета, содержащую взвешенные частицы, количество нерастворимых примесей – сухого остатка, колебалось в пределах 3 – 5 %.

Степень растворения SiO_2 в большей мере зависела от времени и от температуры гидротермальной обработки силикатной пыли. Установлен оптимальный режим: температура растворения 90 – 95 °С, продолжительность 60-90 минут, соотношение твердого вещества, жидкости равно 1:(1,1 – 1,63).

Уменьшение плотности ТЖС вызывало ускорение сроков схватывания за счет меньшей вязкости системы. Начало схватывания вяжущего при плотности ТЖС 1,41 – 1,42 г/см³ наступало через 20 мин (рисунок 1).

В приемлемых для промышленной реализации условиях приготовлены опытно-промышленные партии ТЖС. Рекомендуется для промышленной реализации технологии получения ТЖС следующий состав отходов, % масс.: кремнезёмистая пыль – 30,2; NaOH (твердый) – 12,4; вода – 57,4, обеспечивающий получение ТЖС с модулем 2,3 – 3,0 и плотностью в пределах 1,35 – 1,45 г/см³.

Технологические параметры полученного раствора технического жидкого стекла: силикатный модуль 2,85 – 3,0; плотность 1,40 – 1,48 г/см³; вязкость 0,580 – 1,5 Па.

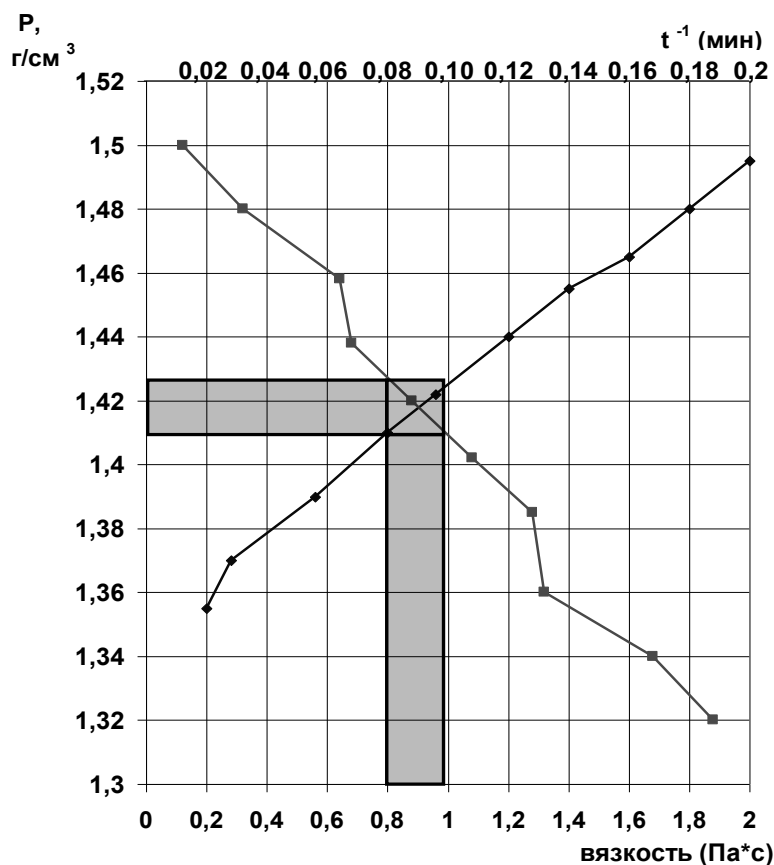


Рисунок 1 – Зависимость вязкости и времени начала схватывания смеси от плотности ТЖС

При приготовлении покрытий для сварочных электродов использовали готовую шихту МР-3Р с добавлением 22 – 28 % технического жидкого стекла. Обмазочную массу получали в смесителе смешением сухой шихты и технического жидкого стекла. Покрытие на стержни наносили на прессе под давлением. Наружный диаметр покрытия электрода при выходе из головки пресса калибровали твердосплавной фильерой. После зачистки контактных торцов и нанесения ионизирующего покрытия электроды подвергали сушке на воздухе с последующей прокалкой в печах (170 – 200 °С). Результаты промышленных испытаний электродов МР-3Р с диаметром стержня 4,0 мм, изготовленных с использованием технического жидкого стекла (опытная партия) и стекла, полученного разваркой силикатной глыбы (контрольная партия), приведены в таблице 2.

Покрытие электродов – серого цвета, плотное, прочное, без вздутий и трещин. Сварочно-технологические свойства полученных электродов полностью соответствуют требованиям ГОСТ 9466-75. Приемосдаточные характеристики сварочных электродов опытной партии (механические свойства металла шва и содержание серы и фосфора в наплавленном металле) соответствуют требованиям технологического регламента и не отличаются от характеристик электродов, изготовленных по традиционной технологии.

Таблица 2 – Качественные показатели электродных покрытий

Электрод на основе связующего	Коэффициент массы покрытия, %	Механические свойства металла шва			Химический состав наплавленного металла, %				
		Временное сопротивление разрыву σ_B , МПа	Относительное удлинение δ , %	Ударная вязкость КСУ, Дж/см ²	С	Mn	Si	S	P
Из силикатной глыбы	40	480	31	151	0,11	0,49	0,08	0,02 2	0,03 8
Из технического жидкого стекла	38	509	31	162	0,09	0,50	0,07	0,03 1	0,03 8
ТУ 1272-001-41637695-98	37-42	450	18	78	0,08 - 0,12	0,50 - 0,80	0,07 - 0,20	0,04 0	0,04 5

Таким образом, результаты проведенных промышленных испытаний жидкого стекла, полученного прямым растворением кремнеземсодержащей пыли (85 – 94 % SiO₂) в щелочах, подтверждают возможность использования его в качестве связующего в покрытии сварочных электродов.

УДК 669.245.295:612

ИЗМЕРЕНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ МАТЕРИАЛА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Рудаков С.Г., Катунина А.С., Зеленко М.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Сварные соединения из материалов с термомеханической памятью должны обладать физико-механическими свойствами близкими к основному металлу. Основной характеристикой у сварных конструкций является усилие, развиваемое при восстановлении формы. Большое разнообразие разработанных конструкций для различных разделов скелета человека предопределяет различные величины значений этих усилий. Диапазон параметров может достигать от десятых долей до сотен ньютонов.

В СибГИУ разработан и изготовлен прибор для контроля механических свойств конструкций из никелида титана.

Для измерения деформаций, сил и механических напряжений наиболее часто используются тензорезисторы, механические, пьезоэлектрические и индуктивные тензометры.

Тензорезисторы могут использоваться в качестве «свободных» преобразователей или в виде наклеиваемых. «Свободные» – выполняются в виде одной или ряда проволок, закрепленных между подвижной и неподвижной деталями. Входной величиной в этом случае является малое перемещение подвижной детали.

Наиболее распространено применение наклеиваемых тензорезисторов. Такой преобразователь, будучи приклеенным к детали, воспринимает деформации ее поверхностного слоя. Эта деформация и является входной величиной преобразователя.

Обычно измерительная база 5 – 20 мм, сопротивление тензорезисторов 30 – 500 Ом.

В последнее время применяются пленочные тензорезисторы, получаемые возгонкой в вакууме тензочувствительного материала (титаноалюминиевые сплавы, полупроводники) на подложку. У последних коэффициент тензочувствительности может достигать 120.

Тензорезисторы могут измерять деформации от 0,005 до 2 %.

Для измерения деформаций могут также применяться пьезоэлектрические, индуктивные и магнитные преобразователи.

Наиболее простыми в изготовлении и обладающие достаточной чувствительностью следует считать преобразователи на проволочных тензорезисторах. Основные схемы их применения показаны на рисунке 1.

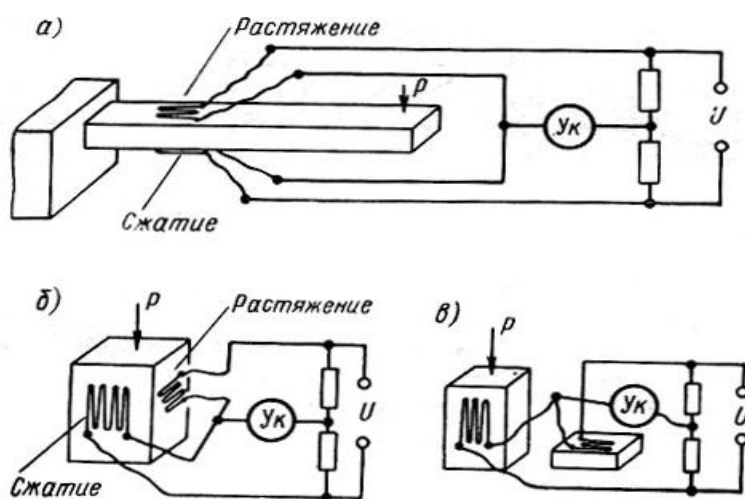


Рисунок 1 – Схемы включения тензорезисторов

Необходимо учитывать, чтобы деформация измерительного элемента не превышала допустимую для конкретного типа резисторов.

Тензорезисторы обычно включаются по мостовой или по полумостовой схеме (во втором случае вторая часть моста может находиться в измери-

тельном приборе). Увеличить чувствительность можно, поместив соседние резисторы мостовой схемы в места, испытывающие равные, но противоположные по знаку деформации (очень легко осуществить при изгибе).

Структурная схема измерения усилий по деформации упругого элемента представлена на рисунке 2.

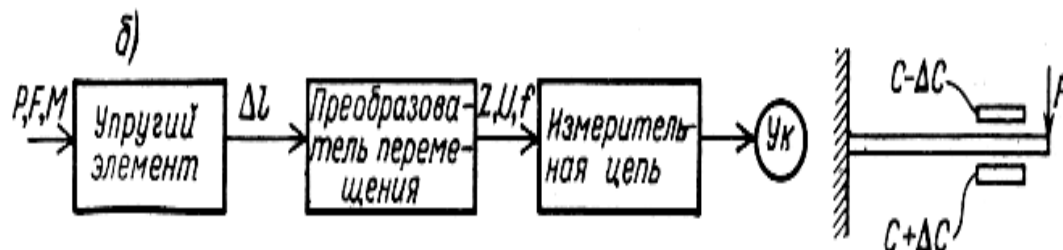


Рисунок 2 – Структурная схема измерителя на упругом элементе

Здесь измерению может подвергаться относительная деформация $\Delta l/l$ или механические напряжения σ , так и абсолютные изменения размеров или положения упругого элемента.

Конструкции упругих элементов могут быть различны, основными требованиями к ним являются: воспроизводимость показаний, минимальные погрешности гистерезиса и линейности.

Нами выбрана форма упругого элемента – балка равного сопротивления, обеспечивающая постоянство деформации в любой точке по длине его.

Для расчета геометрии упругого элемента воспользуемся данными по геометрическим и силовым характеристикам основных типов фиксаторов из никелида титана:

- базовая длина фиксаторов 15 – 100 мм;
- диапазон развиваемых усилий 1 – 15 даН.

При измерении усилий, развиваемых конструкциями с памятью формы, в приборе необходимо соблюдать условие постоянства измерительной базы при каждом замере; опытным путем установлено допустимое отклонение этого параметра (т.е. стрела прогиба измерительного элемента) в 0,5 мм.

Допустимая деформация тензометрических датчиков составляет до 0,05 %. При известной стреле прогиба 0,5 мм и максимальном усилии на упругий элемент в 15 даН можно рассчитать геометрию этого элемента.

Итак:

- Допустимая стрела прогиба – 0,5 мм;
- Допустимая деформация материала упругого элемента на поверхности – 0,05 %;
- Модуль упругости для стали – $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа;
- Принятые размеры упругого элемента – длина – 80 мм; ширина у основания – 15 мм;

Максимальное усилие на конец элемента – 15 даН.

Для измерения статических и медленно изменяющихся деформаций применяются приборы, действие которых основано на нулевом принципе измерений. Этот метод бесспорен по точности.

Простейшие приборы имеют основной недостаток, связанный в возможности выхода измерительного прибора при случайном обрыве одного из резисторов. Необходимы специальные защитные устройства.

Применение усилителей постоянного тока позволяет применять низкочувствительные приборы и решают вопросы ограничения тока. Основной недостаток – нестабильность работы усилителей во времени (дрейф нуля).

Как уже было сказано ранее, обычно основу измерительной схемы при использовании тензорезисторов составляет мост Уинстона.

Возможно применение стандартных тензорезисторов марки ПКБ-200-10 или им подобных на бумажной или пластмассовой основе с сопротивлением $200 \pm 0,3$ Ом и базой измерения 10 мм. Коэффициент тензочувствительности $K = 2,02$, допустимая деформация – 0,05 %. Применение полупроводниковых тензорезисторов может на порядок увеличить чувствительность прибора, однако существенная нестабильность свойств от температуры и высокая хрупкость материала датчиков ограничивает их применение.

Мостовой схеме необходим источник питания, требования к которому исходят из следующих обстоятельств. При прохождении электрического тока по проводнику в нем, согласно закону Джоуля-Ленца, выделяется тепло.

Нагрев проводника приводит к увеличению его сопротивления, а для тензорезисторов это равносильно появлению измеряемого параметра (силы, деформации и т.д.), т.к. температура датчиков при одном и том же значении силы тока может быть неодинаковой вследствие разного теплоотвода в различных местах размещения их на изделии.

Для указанного типа тензорезисторов (ПКБ 200-10) рекомендуемая сила тока не более 0,01 А. Для исключения влияния колебаний напряжения электрической сети на работу схемы измерения предложено источник питания выполнить в виде стабилизатора напряжения.

Тарировка прибора сводилась к определению и подгонке конечных пределов измерения гальванометра на разных пределах измерения.

Пределы измерения установлены в 1, 2,5, 5, 10 и 15 даН.

Прибор прошел технические испытания во Всероссийском научно-исследовательском институте испытания медицинской техники и Всероссийском научно-практическом центре имплантатов с памятью формы и эксплуатируется с 2001 г. при изготовлении погружных конструкций для контроля механических характеристик после полного цикла сварки и термообработки.

НИЗКОЧАСТОТНАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА

Рудаков С.Г., Катунина А.С., Зеленко М.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Одним из основных требований, предъявляемых к изделиям и конструкциям, работающих в условиях знакопеременных и пульсирующих нагрузках, при высоких контактных давлениях и в условиях интенсивного изнашивания является высокая твердость поверхностного слоя, а также благоприятное распределение собственных внутренних напряжений.

Получение указанных характеристик материалов возможно как на стадии их получения с помощью легирования, так и их приобретение в результате различных видов термической, термомеханической, электромеханической и механической обработки.

Имеются данные об упрочнении металлов путем воздействия на них импульсами лазерного луча с повышением микротвердости в 3 – 4 раза против исходной. Однако «взрывной» механизм упрочнения такого рода приводит к появлению кратеров достаточно большого размера (до нескольких десятков микрон). Эффект упрочнения в этом случае связан с наклепом металла в поверхностном слое и термообработкой за счет высоких скоростей охлаждения.

Термическая обработка может существенно повышать эксплуатационные характеристики как однородных материалов, так и биметаллических конструкций. Так отпуск на вторичную твердость валков холодной прокатки, изготовленных из стали 30ХГСА и наплавленных плазменной наплавкой рабочего слоя быстрорежущими сталями типа Р18 и Р6М5 позволяет получить твердость HRC = 62,5 – 64.

Методы поверхностного пластического деформирования подразделяются на статические и ударные. При статических методах инструмент, рабочая среда или тело воздействуют на поверхность с постоянной силой, и очаги воздействия постепенно проходят всю поверхность. К этим методам относятся различные виды выглаживания и обкатки, а также однократного обжатия. Ударные методы подразумевают многократное воздействие на поверхность; при этом сила воздействия на поверхность в каждом цикле изменяется от нуля до какого-то определенного значения.

Поверхностное пластическое деформирование обладает рядом достоинств, позволяющих рекомендовать этот метод упрочнения для целого ряда изделий техники и медицины:

- сохраняется целостность волокон материала и образуется мелкозернистая структура в поверхностном слое;
- отсутствует шаржирование поверхности частицами обрабатываемого

материала;

- отсутствуют термические дефекты;
- достаточно стабильное качество поверхности;
- невысокая шероховатость поверхности;
- образуются микронеровности с большой опорной площадью;
- в поверхностном слое образуются сжимающие напряжения;
- стабильно повышается микротвердость.

Для интенсификации многих технологических процессов обработки материалов (процессы резания, зачистка, задание определенных механических свойств) применяются ультразвуковые и низкочастотные вибрации.

Нами проведены эксперименты по определению технологических параметров ультразвуковой упрочняющей отделочной обработки нержавеющей сталей ферритного, ферритно-мартенситного и мартенситного классов.

Обработка проводилась на станке для ультразвуковой обработки марки 4Д772 на рабочей частоте 22 кГц. Инструмент выполнен по составной схеме из стали 30ХГСА; рабочая часть представляет твердосплавный шарик диаметром 8 мм из сплава ТК. Значение амплитуды колебаний варьировалось в пределах от 5 до 30 мкм, усилие прижатия инструмента от 20 до 300Н. Диапазон варьирования параметров определялся возможностями установки.

Шероховатость поверхности нелинейно зависит от амплитуды вибраций и имеет минимум при ее значениях от 8 до 15 мкм. Небольшие амплитуды не оказывают заметного влияния на сглаживание микронеровностей вследствие относительно небольшой кинетической энергии инструмента. Превышение значения в 15 мкм при данном радиусе рабочей части инструмента приводит к появлению дополнительных вмятин и повышению шероховатости.

Аналогичное действие оказывает и изменение осевого усилия при ультразвуковой обработке. Дополнительное действие осевого усилия на колебательное сказывается при определенном его значении 80 – 120 Н, превышение которого приводит к постепенному выходу акустического узла системы из резонансного режима и снижению амплитуды колебаний.

Предварительное исследование микротвердости показало ее рост в 1,5 раза по сравнению с исходной (7400 против 5000 МПа).

Для многих изделий, например, валков холодной прокатки, металлообрабатывающего и медицинского инструмента, одним из основных факторов, обеспечивающих повышенную работоспособность, является высокая (порядка 60 – 65 HRC) твердость поверхностного слоя. Решение поставленной задачи возможно за счет комплексного применения упрочняющих технологий, таких как плазменная наплавка теплостойкими сталями высокой твердости, термическая и ультразвуковая поверхностная упрочняющая обработка.

Так плазменная наплавка порошковыми проволоками, обеспечивающими получение наплавленного металла по химсоставу, близкому к теплостойким сталям типа P18, P6M5, P2M8, позволяет получить твердость после

наплавки HRC 52-57. Трех- или четырехступенчатый отпуск при температуре 560 – 580 С снижает остаточные напряжения и повышает вторичную твердость наплавленного хромовольфрамового металла до HRC 62 – 64 за счет выделения мелкодисперсных карбидов и превращения остаточного аустенита в мартенсит. Дальнейшим резервом упрочнения наплавленного металла может являться ультразвуковая обработка.

Проведенные исследования (замеры твердости и микротвердости, металлографический и рентгеноструктурный анализ) показали, что существует область значений технологических параметров ультразвуковой обработки ($P = 10$ даН, $A = 20$ мкм, $V = 20$ м/мин), обеспечивающих значительное увеличение характеристик наплавленного металла. Так твердость поверхностного слоя возросла с HRC 62 до HRC 65, а микротвердость с 8000 до 12000 МПа.

Увеличение твердости объясняется, на наш взгляд, измельчением зерна, дроблением крупных дендритов и ростом микроискажений кристаллической решетки.

Как показали результаты исследования ультразвуковая обработка может приводить в зависимости от режима как к упрочнению так и к разупрочнению материала. Рассмотрение механизма воздействия ударных нагрузок на материал позволило выявить некоторые его особенности.

При всей сложности и многогранности этого процесса его можно свести к следующей упрощенной схеме: при ударном воздействии на обрабатываемую поверхность вначале образуется отпечаток от инструмента, который в дальнейшем превращается в серию примыкающих друг к другу отпечатков. Инструмент при давлении в материал вызывает последовательно упругую и пластическую деформации. Последняя и определяет размер отпечатка.

Структурные составляющие металла имеют различную способность к упрочнению (мартенсит – максимальную, сорбит – минимальную). Глубина наклепа зависит от величины колебательной силы и характеристик материала. Установлено, что ударное деформирование требует несколько большей энергии, что связано с увеличением скорости и уменьшением времени нагружения, что в свою очередь приводит к росту напряжений, при которых происходит переход от упругого деформирования к пластическому.

Эффект упрочнения при обработке связан с лавинообразным ростом дислокаций, дроблением объемов металла на блоки, их поворот, искривлением плоскостей скольжения. Могут выпадать соединения азота и происходить превращение остаточного аустенита в мартенсит. Все указанные процессы были исследованы нами и доказано их существование.

Существует опасность перенаклепа металла, в результате которого на поверхности образуются опасные микротрещины, приводящие в дальнейшем к разрушению материала, особенно при усталостном нагружении.

При пластической деформации материала и за счет работы сил трения происходит нагрев зоны обработки, который в зависимости от режимов может достигать несколько сотен градусов. Это обстоятельство приводит к

снижению эффекта упрочнения и резкому снижению сжимающих напряжений на поверхности.

Работоспособность деталей машин во многом определяется величиной и характером приложения нагрузки, напряженным состоянием и процессами взаимодействия поверхности детали с окружающей средой. Особое место в увеличении ресурса работы принадлежит поверхностному слою детали.

Создание на поверхности наплавленных деталей, таких как прокатные валки, металлообрабатывающий инструмент и др., значительных остаточных сжимающих напряжений благоприятно сказывается на увеличении их надежности и долговечности. Одним из возможных и достаточно надежных способов регулирования является ультразвуковая поверхностная упрочняющая обработка.

В работе исследовано влияние ультразвуковой обработки на напряженное состояние наплавленных теплостойкими сталями типа Р6М5 и Р18 рабочих валков холодной прокатки. Режимы обработки варьировались в пределах: $P_{ст} = 5 - 15$ даН, $A = 20 - 50$ мкм, $V = 5 - 20$ м/мин, $S = 0,05$ мм/об, $f = 22$ кГц.

В результате исследований установлено, что после ультразвуковой обработки в дисках сохранилась благоприятная эпюра напряжений, характерная для наплавленных прокатных валков, однако существенно (до 350 – 400 МПа) возросли максимальные тангенциальные сжимающие напряжения, увеличилась глубина их залегания. Отмечено также, что режиму обработки с большей величиной силы статического прижатия инструмента соответствует большая глубина залегания сжимающих напряжений.

В целом проведенные исследования показали возможность широкого регулирования эпюры остаточных напряжений в наплавленных деталях при помощи ультразвуковой поверхностной упрочняющей обработки.

Особое внимание нами было уделено повышению стойкости режущего хирургического инструмента. Эта проблема настолько актуальна при недопустимо малом уровне снабжения инструментарием, что это обстоятельство предопределило приоритетное направление наших исследований.

Режущие хирургические инструменты должны обладать не только комплексом механических свойств, необходимых для выполнения своих прямых функций, но и, как и все медицинские инструменты быть достаточно коррозионностойкими. Материалами для их изготовления являются инструментальные стали с дальнейшим антикоррозионным хромовым покрытием и нержавеющие закаливающиеся стали.

Для первого класса материалов проводились работы по повышению контактной усталостной прочности поверхностного слоя изделий. Применение ультразвуковых хирургических аппаратов и соответствующих инструментов, работающих с частотой более 20 кГц заставляет видеть эту проблему и с экономической точки зрения.

Установлено, что усталостная контактная прочность выглаженных покрытий на числе циклов $N = 10^5$ в 1,5 – 2 раза выше контрольных образцов.

Металлографические исследования при разрушении покрытия показали различный характер процесса: поверхностный выглаженный слой разрушается в результате расклинивающего действия основного металла в покрытии, в обычном варианте – за счет развития трещин под слоем хрома. Коррозионная стойкость хромированных выглаженных инструментов повышается от 1,2 до 2,5 раз в зависимости от вида инструмента и способа его обработки.

Для нержавеющей закаливающейся сталей и ультразвуковых титановых инструментов основное внимание было уделено повышению их долговечности. Это обстоятельство особенно важно для ультразвуковых инструментов, повторная заточка которых приводит к повышению их резонансной частоты и, после некоторого предела, к невозможности их согласования с генератором.

Установлено, что долговечность инструментов (определяемая практически врачами-хирургами по количеству качественно проведенных резов на мягких тканях одного вида) в 2,2 – 2,3 раза повышается после ультразвуковой поверхностной обработки.

Особое внимание уделяется внешнему виду хирургического инструмента. Выглаживание снижает неровности поверхности, увеличивает отражающую способность.

Таким образом, проведенные исследования позволяют рекомендовать ультразвуковую поверхностную упрочняющую обработку как эффективный способ повышения эксплуатационных свойств материалов и изделий в технике и медицине.

УДК 669.245.295:612

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ НИКЕЛИДА ТИТАНА

Рудаков С.Г., Полторацкий Л.М., Катунина А.С., Зеленко М.С.

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

Использование сплавов на основе TiNi в технике и медицине развивается широкими темпами, благодаря комплексу их свойств, в первую очередь сверхэластичности, эффекту памяти формы и высокой коррозионной стойкости. Сложная форма конструкций определяет высокую долю отходов при раскросе материала.

Применение сварки позволяет снизить количество отходов, что снижает себестоимость изделий и расширяет их ассортимент.

Проблемой получения сварного соединения является изменение химического состава зоны сварки, что приводит к частичной или полной потере свойств памяти формы и к снижению прочности. По имеющимся литератур-

ным данным сохранение свойств при термическом воздействии обеспечивается при скоростях охлаждения, характерных для закалки. Способ ударной конденсаторной сварки гарантирует скорости охлаждения зоны сварки порядка 10 град./с, что позволяет применить его для сварки сплавов на основе TiNi.

Полученные результаты по исследованию свариваемости большинства применяемых в настоящее время сплавов с термомеханической памятью на основе никелида титана и влиянию некоторых видов термической и термомеханической обработки, проводимой во время и после сварки (в том числе лазерная и ультразвуковая поверхностная упрочняющая обработка) показали возможность получения сварного соединения титано-никелевых сплавов с достаточными для практического применения свойствами (прочность, коррозионная стойкость и сохранение эффекта памяти формы).

Основной задачей при проектировании сварочных технологий является активный контроль за параметрами сварки на всех стадиях процесса и управление ими, в случае необходимости, для получения ожидаемых результатов.

В схему установки для ударно-конденсаторной сварки заложены несколько датчиков, следящих за основными параметрами сварки – напряжением заряда, емкостью батареи конденсаторов, сопротивлением разрядной цепи, вылетом электродов, скоростью соударения, амплитудой и длительностью импульса разрядного тока.

Для стабилизации свойств материала после сварки изделие подвергается термической обработке в контролируемой активной или инертной газовой среде с обязательным слежением за составом среды, температурой, временем выдержки, скоростью нагрева и охлаждения.

Нами разработана установка, позволяющая проводить термообработку по заранее заданному термическому циклу. За основу взята схема амплитудной системы фотокопирования газорезательных машин. Необходимый график нагрева, выдержки и охлаждения наносится непрозрачным носителем (чернила, тушь и т.п.) на бумажный носитель самопишущего прибора.

В электрическую схему самописца добавлены тиристорная оптопара и схема обратной связи с нагревательным элементом системы термообработки. Излучающий и воспринимающий элементы оптопары находятся по разным сторонам бумажного носителя. При нахождении центра оптопары точно по середине линии термического цикла схема сравнения находится в равновесии и сигнал на нагревательное и охлаждающее устройства отсутствует. При отклонении в ту или иную сторону (т.е. когда температура образца меньше или больше заданной) схема сравнения подает сигнал на включение или отключение тиристорных контакторов силовых схем нагрева и охлаждения.

Применение оптопары позволяет минимизировать время переходных процессов при пересечении границы раздела «прозрачный-непрозрачный». По сравнению с фоторезисторами удалось уменьшить время срабатывания схемы сравнения почти в 2 раза.

В качестве системы нагрева и охлаждения использована машина стыковой контактной сварки МС-502. Переделка электрической схемы заключалась в замене релейного контактора на тиристорный для увеличения быстродействия и бесшумности работы. Водяное охлаждение зажимных губок машины обеспечивает необходимые скорости охлаждения образцов практически для всех задаваемых термических циклов.

Система позволяет проводить нагрев и охлаждение до скоростей порядка $1000 \text{ K}\cdot\text{c}^{-1}$. Точность поддержания температуры не хуже 10 K до температур $1500 \text{ }^\circ\text{C}$.

Эксперименты по реализации разработанной системы контроля и слежения за параметрами сварки и термообработки показали ее перспективность при изготовлении конструкций из сплавов с термомеханической памятью. Проанализировано более 200 образцов из никелида титана различного химсостава, подвергнутых термообработке по заданному термическому циклу. Подтверждена достаточно высокая повторяемость свойств образцов, обработанных по одному и тому же циклу, что в дальнейшем может служить гарантией стабильности качества продукции.

УДК 621.791.01

ВЛИЯНИЕ ПОКРЫТИЙ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДУГИ*

САБИРОВ И.Р., ЗЕРНИН Е.А., КРЮКОВ А.В., КУЗНЕЦОВ М.А.

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

Сварка в защитных газах плавящимся электродом занимает одно из ведущих мест во всех отраслях промышленности, в том числе при изготовлении и ремонте горношахтного оборудования, как у нас в стране, так и за рубежом.

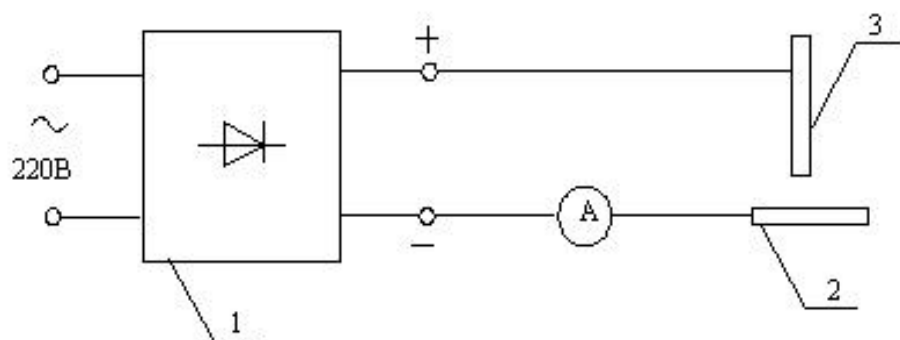
При дуговой сварке существенное значение имеют процессы, протекающие в плазме дуги. От них зависят стабильность горения дуги, распределение энергии между основным металлом и электродом, формирование сварных швов и их пористость.

В работах [1, 2] описано повышение эффективности применения покрытий при дуговой сварке плавлением за счет введения элементов с низким потенциалом ионизации. Это позволяет снизить количество потерь металла на угар и разбрызгивание за счет улучшения стабильности горения дуги.

В данной работе был получен качественный хим. состав плазмы дуги с

* Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук и их научных руководителей. Номер гранта МК-3993.2008.8 (2008 – 2009 гг.).

помощью спектрального анализа. Для этого была создана экспериментальная установка (рисунок 1).



1 – источник возбуждения спектра; 2 – пластина; 3 – электрод

Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки:

Спектральный анализ проводился на спектрографе ИСП-28. Рабочий промежуток составлял 2 мм. Источником возбуждения спектра послужила дуга постоянного тока 3 А. В качестве анода использовалась сварочная проволока Св-08Г2С, за катод взяли металлическую пластину толщиной 3мм. Щель прибора освещалась при помощи трех линзовой системы. При проведении опыта выделялся прианодный слой (ширина щели 0,01 мм, высота 2 мм). Спектр фотографировали на аэрофотопленку через диафрагму Гартмана. Пленка проявлялась в проявителе в течение 4 мин., время закрепления составляло 7 мин. Расшифровка спектра проводилась на спектропроекторе СПП-2.

При проведении опыта применяли три пластины с маркировками № 1, № 3, № 6 (таблица 1).

Результаты анализа представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Виды покрытия на пластинах

Маркировка пластины	1	3	6
Вид покрытия	Без покрытия	Покрытие [3]	Покрытие [4]

Таблица 2 – Результаты спектрального анализа дугового промежутка

Пластина	Fe	Mn	Si	Cr	K	Na	Mg	Ni
1	>10%	>10%	0,1–1%	0,01–0,1%	–			следы
3	>10%	>10%	0,1–1%	0,01–0,1%	0,1–1%	0,01–0,1%	0,01–0,1%	следы
6	>10%	1–10%	0,1–1%	0,01–0,1%	–	0,01–0,1%	0,01–0,1%	следы

В работах [1, 2] описывалось, что с применением покрытия [3] снижаются потери металла на угар и разбрызгивание. По результатам спектрального анализа установлено, что в дуговом промежутке при использовании по-

крытия [3] появляется такой элемент как калий, имеющий более низкий потенциал ионизации. Появление данного металла, снижает эффективный потенциал ионизации дугового промежутка и, как следствие, стабилизирует процесс горения дуги [5 – 8].

По полученным данным спектрального анализа был проведен расчет эффективного потенциала ионизации газа по формуле [9]:

$$u_0 = -\frac{T}{5800} \cdot \ln \sum_1^k V_i^{1/2} \exp\left(-\frac{5800 \cdot u_i}{T}\right),$$

где V_i – концентрация i -го газа в смеси;

u_i – потенциал ионизации i -го газа в смеси;

T – температура, К.

Т.к. значение температуры не изменяет качественные результаты расчетов, то для упрощения последних принимаем $T = 5800$ К.

Для расчетов были применены уточненные химические составы (таблица 3) плазмы, полученные при спектральном анализе.

Были получены следующие результаты расчетов:

– эффективный потенциал ионизации первого химического состава – $u_0 = 7,33$ В;

– эффективный потенциал ионизации второго химического состава представлен на графике (рисунок 2);

– эффективный потенциал ионизации третьего химического состава – $u_0 = 7,05$ В.

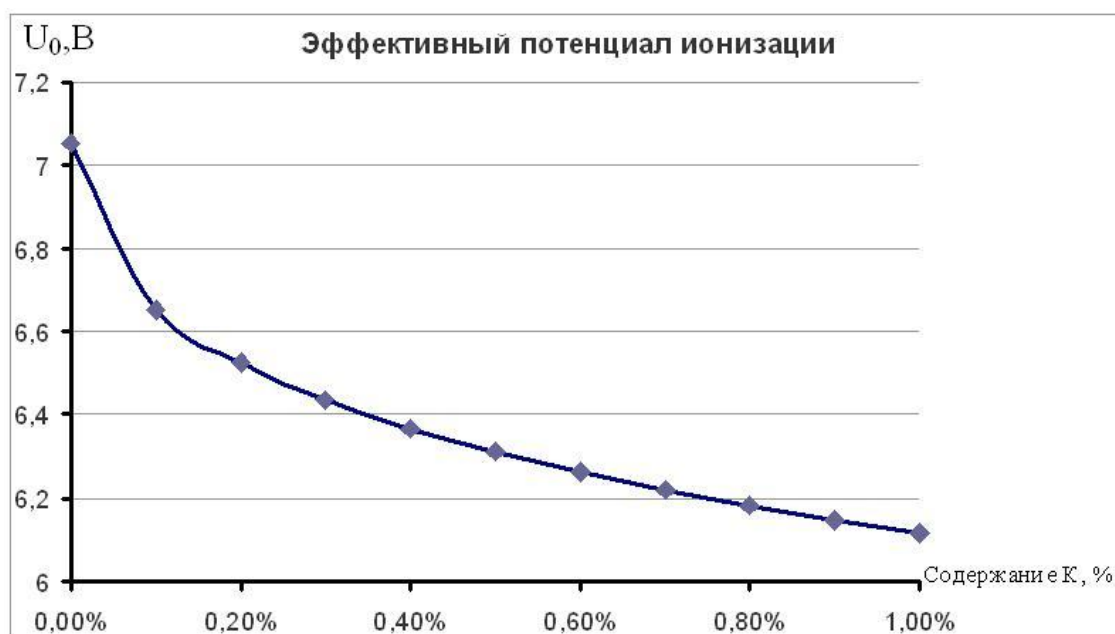


Рисунок 2 – Изменение эффективного потенциала ионизации в зависимости от концентрации калия

Таблица 3 – Уточненные химические составы

Пластина	Fe	Mn	Si	Cr	K	Na	Mg
1	88%	10%	1%	0,1%	–		
3	88%	10%	1%	0,1%	0,1–1%	0,1%	0,1%
6	88%	10%	1%	0,1%	–	0,1%	0,1%

Вывод: Введение в состав функционального покрытия такого химического элемента, как калий, приводит к снижению эффективного потенциала ионизации. Это ведет к увеличению стабильности горения дуги.

Библиографический список

1. Иванова И.С., Сабиров И.Р. Роль элементов активаторов при дуговой сварке плавлением. // «Знания, умения, навыки – путь к созданию новых инженерных решений»: Материалы Университетской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 100-летию со дня рождения Никитина Николая Васильевича, выдающегося российского инженера и ученого в области строительных конструкций. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. с.40-42.
2. Сабиров И.Р., Зернин Е.А., Иванова И.С. Повышение эффективности применения покрытий при дуговой сварке плавлением. // Металлургия: технологии, управление, инновации, качество. Труды Всероссийской научно-практической конференции – Новокузнецк, Сибирский государственный индустриальный университет, 2007. – С. 186 – 190.
3. Сабиров И.Р., Сапожков С.Б., Зернин Е.А. Функциональное покрытие для дуговой сварки плавлением // Патент на изобретение № 2353491 (РФ). Приоритет от 02.10.2007. В23К 35/36. Опубл. 27.04.2009. Бюл. №12.
4. Федько В.Т., Сапожков С.Б., Дведенидов А.Н., Рычагов В.П., Зернина Е.В., Зернин Е.А., Щербинин С.В. Покрытие для защиты поверхности от налипания брызг расплавленного металла. Патент № 2219031. Приоритет от 06.11.2001 г. Бюл. № 35.
5. Зандберг Э.Я., Ионов Н.И. Поверхностная ионизация. М.: Наука, 1969. – 432 с.
6. Основные свойства некоторых газов при высоких температурах. Справочник /Л.И. Греков, Ю.В. Москвин, В.С. Романичев, О.Н. Фаворский. М. Машиностроение, 1964. – 40 с.
7. Е.Н. Варуха, В.А. Ленивкин Перенос электродного металла при сварке по слою активаторов // Сварочное производство. – 1986. – № 5. – С. 32 – 34.
8. Фоменко В.С., Подчерняева И.А. Эмиссионные и адсорбционные свойства вещества и материалов: Справочник. М.: Атомиздат, 1975. – 320 с.
9. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В. Коновалов, А.С. Куркин, Э.Л. Макаров, В.М. Неровный, Б.Ф. Якушин; Под. ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752с.

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПЛИТ (БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ) ПРИ РЕМОНТАХ ОБОРУДОВАНИЯ

Соколов П.Д.

ООО РТЦ «Сибирь»

Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк

Композиционные износостойкие плиты представляют из себя плиту (основу) из конструкционной стали, обычной низкоуглеродистой или любой другой стали с износостойким покрытием, нанесенным методом дуговой наплавки.

Эти плиты идеально подходят для защиты от износа больших по площади поверхностей, где имеет место сильный абразивный и эрозионный износ в сочетании с умеренными ударами.

В процессе наплавки проволокой важен контроль скорости охлаждения. В итоге образуется специальная структура и форма карбидов, которая и обеспечивает высочайшую износостойкость покрытия.

Структура композиционной плиты выглядит следующим образом (рисунок 1).

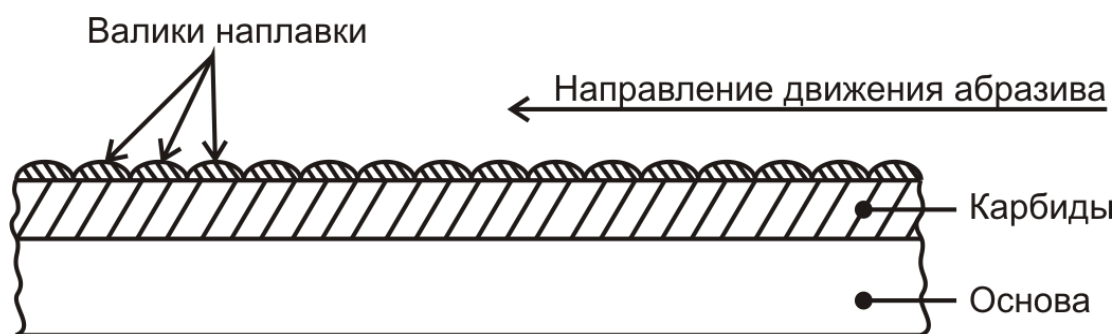


Рисунок 1 – Структура композиционной плиты

Другой опцией плит, позволяющей дополнительно увеличивать износостойкость плит на 25 – 30 %, является специальная волнообразная наплавка (нанесение валиков на основу) или применение поперечных колебаний горелки (рисунок 2).

Увеличение износостойкости достигается за счет того, что направление частиц абразивного материала и направление наплавленных валиков не совпадают.

Область применения – практически везде, где требуется защитить по-

верхности от сильного абразивного износа при среднем ударе, а именно: всевозможные загрузочные бункера, желоба, части дробилок, корпуса мельниц, лопасти и лопатки вентиляторов, циклоны, ковши экскаваторов, транспортеры и конвейера.



Рисунок 2 – Способы волнообразной наплавки

Преимущества очевидны – удобный и легкий монтаж на защищаемой поверхности с помощью сварки, на болтах, на шпильках и т.д., а также возможность вальцовки, гибки. А самое главное – возможность очень быстро смонтировать плиту. В сравнении с защитной наплавкой одинаковых площадей время и трудозатраты монтажа плиты и наплавки отличаются практически в десятки раз!

Еще один интересный фактор: в номенклатуре производства плит применяются материалы, способные сохранять защитные свойства при температурах до 200 °С, до 400 °С и даже до 700 °С, что расширяет диапазон применения этих изделий. Плиты могут поставляться любыми размерами, обычно это 1500x2000 мм при толщинах (база+наплавка) – 4+3; 5+3,+4; 6+3,+4,+6; 8+4,+5,+6,+8,+10; 10+4,+5,+8,+10; 12+3,+5,+8 и т.д. в зависимости от назначения и технических требований.

С точки зрения экономики применение плит значительно выгоднее в сравнении с наплавкой специальными сварочными материалами. К примеру плита INTEGRA 100 (производитель Welding Alloys) 4+3 мм стоит порядка 300 € за 1 м², тогда как наплавка 1 м² толщиной 3 мм обойдется с применением электродов типа DUR 600 около 600 € - только за материал, не считая трудозатрат.

Естественно, стоимость плит в зависимости от толщины (база+наплавка) и характеристик увеличивается с увеличением толщин и улучшенных характеристик.

К примеру, плита INTEGRA 100 в варианте 10+10 будет стоить около 850 € за 1 м², а плита INTEGRA 600 (Т° до 700 °С) будет уже почти 2000 € за 1 м².

Удалось в 2009 году практически применить композиционные плиты на скальном ноже бульдозера «Caterpillar» Кедровского разреза. Пластины 8+5, приваренные по контуру съемных ножей и бронированные по торцам специальными электродами, близкими по свойствам к материалу плит, показали поразительные результаты: за 6 месяцев работы на тяжелом скальном

грунте износ составил 0,1 мм!

Таким образом, в заключении главное:

- применение композитных пластин перспективно в любой отрасли;
- кажущаяся высокая ценовая политика окупается не только стоимостью, но и трудозатратами на восстановительный ремонт даже «традиционными» способами;
- возможность применения вальцовки, гибки плит увеличивает диапазон их применения;
- стойкость плит оценивается в 1,5 – 2 года в зависимости от характеристик.

УДК 621.791.94

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СВАРКИ В CO_2 С ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧЕЙ СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ И МОДУЛЯЦИЕЙ СВАРОЧНОГО ТОКА

Солодский С.А., Брунов О.Г. Зеленковский А.А.

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

Основным способом сварки в машиностроении остается механизированная сварка в защитных газах.

При многих преимуществах этот способ имеет и недостатки, существенным из которых является повышенное разбрызгивание.

Потери электродного металла можно сократить путем перевода сварки стационарной дугой в импульсно – дуговой процесс. Причем снижение потерь может быть существенным, если импульсно – дуговой процесс сделать управляемым. Но одним из главных приоритетов внедрения нового процесса сварки является повышение прочностных свойств сварной конструкции [1].

Целью работы является создание автоматизированной системы управления для сварки в CO_2 с импульсной подачей сварочной проволоки и модуляцией сварочного тока, позволяющий управлять как переносом электродного металла, так и тепловложением в широком диапазоне для сварки различных марок сталей.

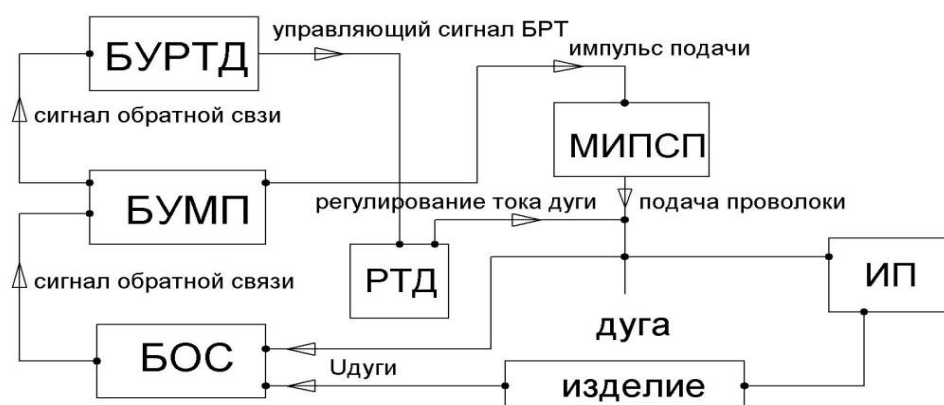
Поставленная задача достигается тем, что для процесса управляемого переноса применяется импульсная подача сварочной проволоки, когда заданная длина проволоки (шаг подачи) с частотой, заданной механизмом импульсной подачи проволоки (МИПСП), подается в зону сварки в режиме «импульс-пауза». Дуга горит между проволокой и изделием в момент паузы подачи проволоки в момент начала подачи сварочной проволоки после паузы происходит шунтирование дуги до определенного значения тока (ток паузы), которое продолжается до момента короткого замыкания. Окончание им-

пульса подачи сопровождается мгновенной остановкой проволоки, а жидкая капля электродного металла под действием силы инерции, полученной во время остановки проволоки переходит в сварочную ванну. После короткого замыкания загорается дуга и процесс повторяется [2].

Для реализации способа сварки разработана автоматизированная функциональная блок-схема, позволяющая объединить и согласовать импульсную подачу проволоки с модуляцией тока дуги с использованием адаптивных обратных связей.

В данном способе импульсная подача проволоки используется для получения управляемого переноса электродного металла независимо от пространственного положения сварного шва. Для этого разработан и изготовлен МИПСП, обладающий:

- стабильностью шага подачи;
- быстродействием (возможностью работать на частотах до 120 Гц);
- низкой инерционностью;
- низкими массогабаритными параметрами;
- возможностью управлять механизмом по мгновенным параметрам дуги (рисунки 1 и 2).

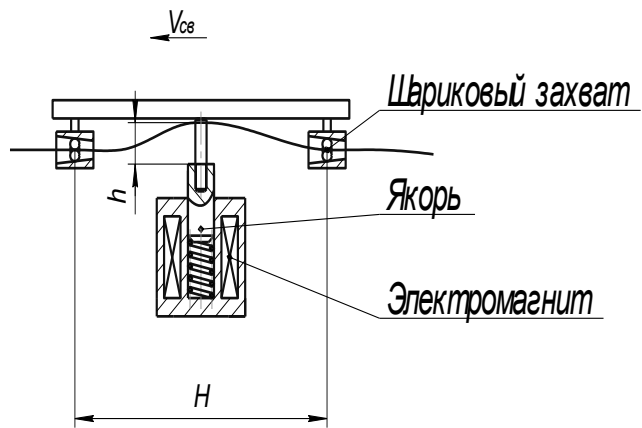


ИП – источник питания; БОС – блок обратной связи; БУМП – блок управления механизмом подачи проволоки; БУРТД – блок управления регулятором тока дуги; МИПСП – механизм импульсной подачи сварочной проволоки; РТД – регулятор тока дуги

Рисунок 1 – Блок-схема автоматизированного управления процессом сварки

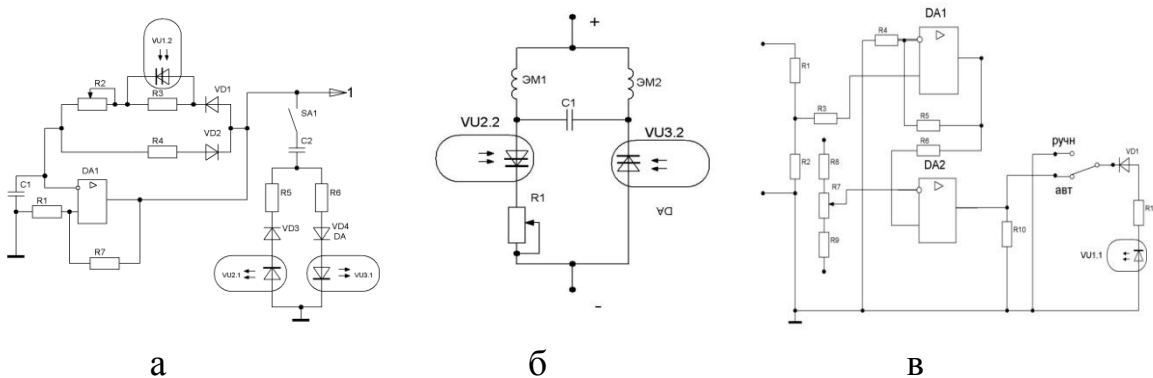
Данный механизм тянущего типа, обладает высоким быстродействием, стабильностью шага подачи проволоки, что делает возможным управлять механизмом, используя обратные связи в составе полуавтомата.

Схема управления МИПСП, обладающая быстродействием на уровне частоты переноса, представлена на рисунке 3.



а – рабочий образец; б – схема работы МИПСП

Рисунок 2 – Механизм импульсной подачи проволоки



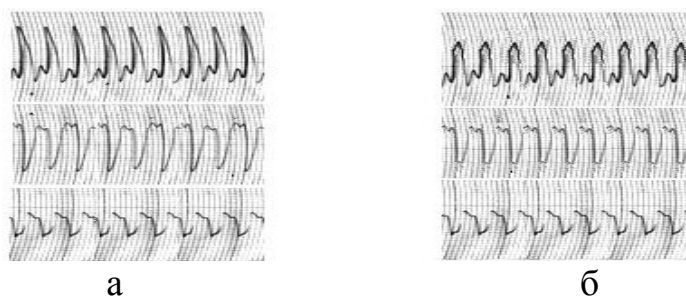
а – генератор импульсов; б – система электромагнитов;
в – блок согласования и коррекции скважности импульсов

Рисунок 3 – Схема управления МИПСП

Скорость подачи проволоки регулируется частотой срабатывания электромагнита и шагом подачи проволоки.

Для согласования блока управления механизмом подачи проволоки с процессами, происходящими с каплей расплавленного металла и обеспечение стабильности переноса, в систему управления вводится обратная связь по напряжению дуги (рисунок 3, в).

Задача блока согласования и коррекции скважности импульсов – отслеживать напряжение на дуге и включать импульс подачи проволоки при достижении длины дуги заданной на блоке величины, соответствующей определенному напряжению дуги (максимальное напряжение дуги). Так как шаг подачи проволоки постоянный, изменяя максимальное напряжение дуги на блоке управления, можно изменять глубину проплавления и ширину шва (рисунки 4 – 6).



а – импульсная подача сварочной проволоки (ИПСП) с управлением по максимальному напряжению; б – ИПСП с модуляцией тока

Рисунок 4 – Осциллограммы процесса

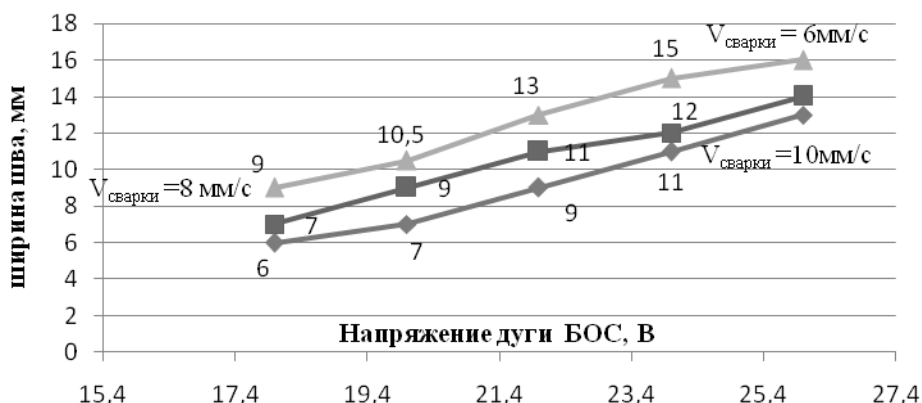


Рисунок 5 – Зависимость ширины шва от напряжения, заданного блоком ОС

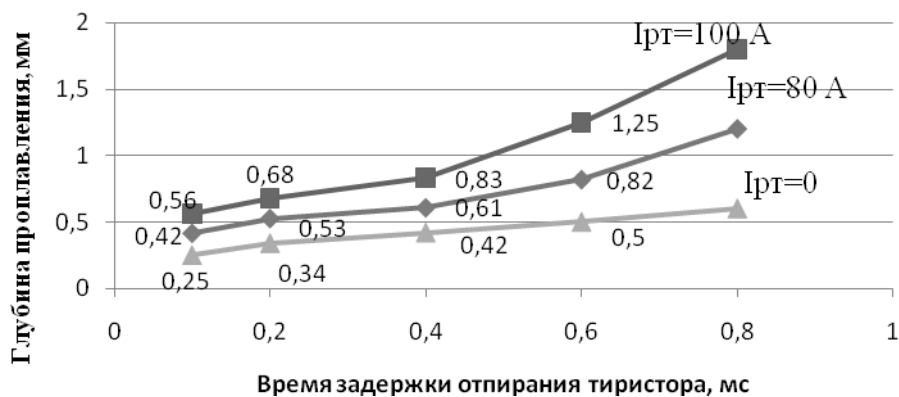


Рисунок 6 – Зависимость глубины проплавления от времени включения регулятора тока

Данный способ позволяет:

– вести сварку металла в различных пространственных положениях с толщинами от 0,8 мм и выше за счет возможности регулировки глубины проплавления;

- производить наплавку металла с минимальной долей расплавления основного металла;
- снизить тепловложения в основной металл и потери металла на угар и разбрызгивание до 1,5 %
- повысить механические свойства сварных изделий из сталей типа 14ХГ2САФД.

Библиографический список

1. Сараев Ю.М. Импульсные технологические процессы сварки и наплавки. Новосибирск: ВО «Наука». 1994. 107 с.
2. Заявка на изобретение № 2007148265/02(052881).

УДК 621.191

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА СВАРНОГО ШВА В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

ТЮМЕНЦЕВ И.Г., ЕГОРОВ В.Ф., ПОЛИЩУК С.В., ТЮМЕНЦЕВ М.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Литой структуре металла шва при сварке плавлением присуща анизотропия механических свойств, что проявляется, например, в существовании в пределах шва зоны минимального сопротивления разрушению. Свойства и ориентация этой зоны в значительной степени зависят от характера структурной неоднородности, сформировавшейся в процессе кристаллизации сварочной ванны. Поэтому из возможных технологических приемов, направленных на повышение однородности структуры, наиболее целесообразным являются те, которые реализуются в температурном интервале затвердевания. В этом плане, успешно используется технология вращения металла затвердевающей сварочной ванны продольным электромагнитным полем.

Работами ряда авторов подчеркнута, что характер первичной структуры в значительной степени определяет сопротивляемость металла шва разрушению как в процессе сварки, так и при эксплуатации изделия. Установлено, что зарождение и развитие разрушения металла шва происходит преимущественно по границам стыка кристаллитов. Наиболее благоприятным типом структуры, обеспечивающим повышенную сопротивляемость разрушению, является мелкодисперсная дезориентированная ячеисто-дендритная.

Значительную роль оказывает также ориентация осей кристаллитов относительно поля внешних и внутренних напряжений в сварном соединении. Установлено, что разрушение металла шва наиболее легко осуществляется в направлении, совпадающим с направлением перемещения сварочной дуги и наиболее затруднено в обратном направлении при малых скоростях

сварки. Увеличение скорости сварки способствует прямолинейному росту кристаллитов от зоны сплавления к центру шва и это приводит к снижению механических характеристик металла шва, независимо от направления действия нагрузки. Следовательно, целенаправленное искривление осей кристаллитов, уменьшение их размеров, дезориентация зоны стыка кристаллитов в центре шва должно способствовать повышению сопротивляемости разрушению металла шва.

Поэтому целью настоящей работы является металлографический анализ структуры металла формирующейся в условиях электромагнитного воздействия.

Опыт большой металлургии показывает, что применение внешних электромагнитных полей способствует интенсификации процесса плавки, наиболее полному удалению шлаков за счет движения расплава под воздействием объемных сил, возникающих в расплаве. Применение электромагнитных полей может способствовать ограничению движения, возбуждению движения, деформации движения (изменение траекторий) и изменению структуры течения.

Следовательно, изменяя пространственное положение магнитных силовых линий, при сварке, можно добиться желаемого направления движения расплава. Как уже описано выше, наибольшей эффективностью обладает продольное электромагнитное поле по отношению к оси электрода, способствующее вращательному движению расплава сварочной ванны.

Для оценки влияния внешнего продольного электромагнитного поля на кристаллизацию металла шва в работе были проведены исследования с помощью модели сварной ванны.

Моделирование процесса затвердевания сварочной ванны в условиях внешнего продольного электромагнитного поля производилось по схеме, показанной на рисунке 1.

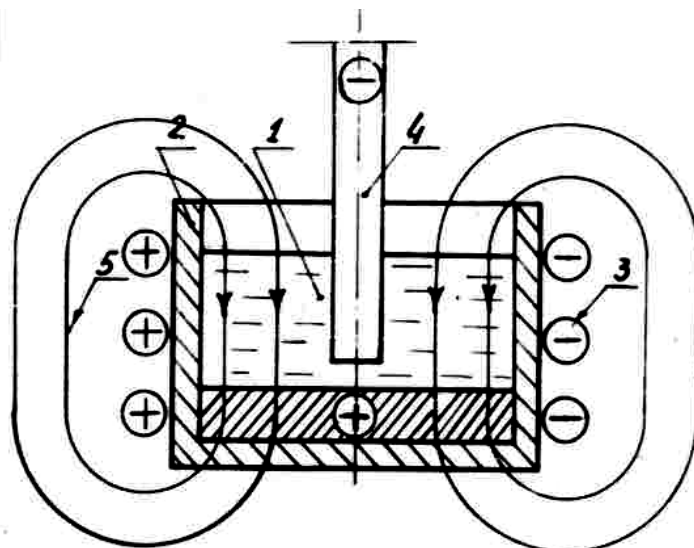
В данном случае моделью сварочной ванны является расплав цинка, помещенный в медный кристаллизатор 2. Для имитации сварочного тока, протекающего в ванне при дуговой сварке, в расплав помещали вольфрамовый электрод, по которому пропускали ток различной силы. Кристаллизатор помещали в соленоид таким образом, чтобы магнитные силовые линии 5 были параллельны оси электрода 4. Питание соленоида осуществляли от источника постоянного тока, изменяя его от 0 до 10 А, при этом магнитная индукция изменялась от 0 до 0,06Т. Увеличение магнитной индукции свыше указанной величины нецелесообразно в том смысле, что магнитное поле будет оказывать отрицательное влияние на устойчивость горения дуги.

Кристаллизация слитка производилась при изменении индукции магнитного поля при постоянном токе в ванне, равном 50 А. Из всего разнообразия рассмотренных опытов следует обратить внимание на следующие результаты:

1) Когда кристаллизация происходила при магнитной индукции $B = 0,00T$;

2) Когда кристаллизация слитка происходила в постоянном электромагнитном поле $B = 0,05$ Т;

3) Когда кристаллизация слитка происходила в переменном электромагнитном поле, создаваемом путем реверсирования тока соленоида с частотой $f = 0,3 - 0,8$ Гц при постоянной магнитной индукции $B = 0,05$ Т.



1 – расплав жидкого металла; 2 – кристаллизатор; 3 – соленоид;
4 – электрод; 5 – магнитные силовые линии

Рисунок 1 – Схема кристаллизации отливки
в продольном электромагнитном поле

Оценка результатов воздействия электромагнитного поля производилась по характеру первичной макроструктуры на поперечном срезе отливки.

На рисунках 2, 3, 4 приведены соответствующие фотографии макроструктуры слитка.

На рисунках видно, что наличие внешнего электромагнитного поля оказывает существенное влияние на формирование первичной макроструктуры.

Подсчет осей кристаллитов на единице длины поперечного сечения слитка показывает, что число осей при наличии электромагнитного поля увеличивается вдвое по сравнению со случаем, когда металл кристаллизуется без электромагнитного поля (рисунки 2 и 4), то есть имеет место значительное измельчение структуры. Кроме того, электромагнитное поле, вызывая движение расплава искривляет оси кристаллитов в сторону, противоположную вращению (рисунок 3), если поле постоянного направления. В данном случае (рисунок 3) в центральной зоне слитка можно наблюдать зону равноосных кристаллов, возникающих в силу переохлаждения, вызываемого движением расплава.

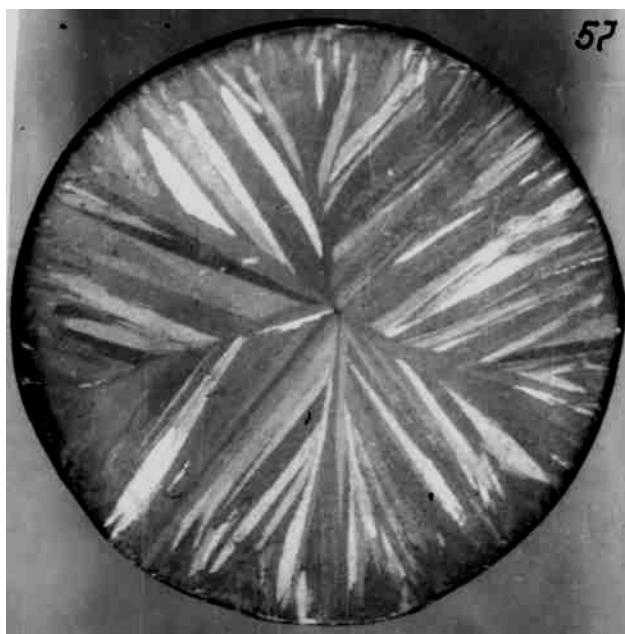


Рисунок 2 – Характер макроструктуры ($\times 2,5$) поперечного сечения отливки при кристаллизации в условиях $I = 50$ А, $B = 0$ Т

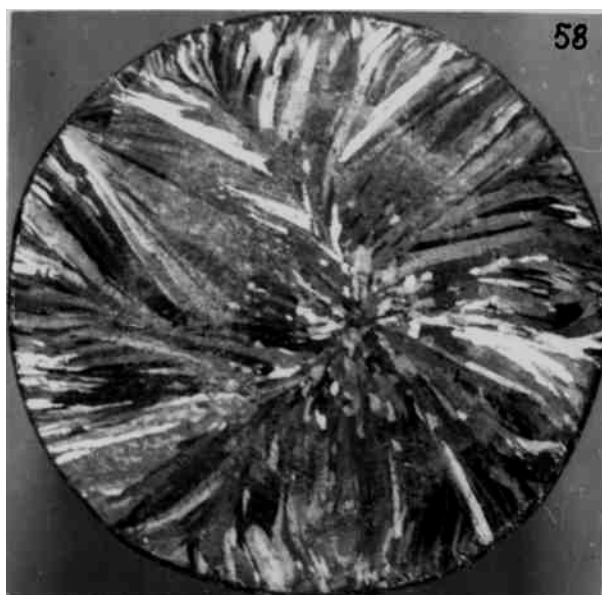


Рисунок 3 – Характер макроструктуры ($\times 2,5$) поперечного сечения отливки при кристаллизации в условиях $I = 50$ А, $B = 0,05$ Т, $f = 0$ Гц

Использование переменного электромагнитного поля позволяет получать мелкодисперсную дезориентированную структуру, формирующуюся в результате возвратно-поступательного движения жидкости у фронта затвердевания, как это видно из рисунка 4.

На основании проведенных опытов установлено, что увеличение частоты реверсирования электромагнитного поля не способствует дальнейшему измельчению и дезориентации осей кристаллитов. Это, очевидно, связано с

тем, что устойчивое возвратно-поступательное движение расплава у фронта затвердевания нарушается. И для его восстановления необходимо увеличить магнитную индукцию, что, по выше названным причинам, нецелесообразно.

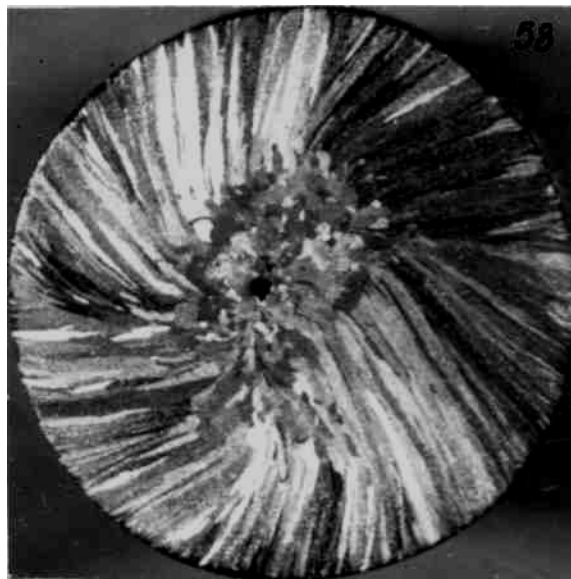


Рисунок 4 – Характер макроструктуры ($\times 2,5$) поперечного сечения отливки при кристаллизации в условиях $I = 50$ А, $B = 0,05$ Т, $f = 0,5$ Гц

Итак, на основании проведенных опытов установлено, что наиболее эффективным, с точки зрения дезориентации и измельчения первичных кристаллитов, является применение переменного продольного электромагнитного поля низкой частоты. Увеличение частоты реверсирования электромагнитного поля не даст положительного эффекта в силу невозможности установления устойчивого колебания расплава у фронта затвердевания

УДК 621.791

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЛЕНИЕМ*

ЧИНАХОВ Д.А., ДАВЫДОВ, А.А.

*Юргинский технологический институт
Томского политехнического университета
г. Юрга*

Большинство сварочных процессов предусматривает нагрев соединяемых деталей разными видами источников теплоты. В этом случае, качество сварного соединения во многом определяется условиями нагрева и охлажде-

* Работа выполнена в рамках АВЦП проект 2.1.2/875.

ния. Характер протекания тепловых процессов определяет производительность плавления основного металла и присадочного материала, направление и полноту протекания металлургических процессов в сварочной ванне, условия формирования структуры металла шва и зоны термического влияния, эксплуатационные свойства сварных соединений [1].

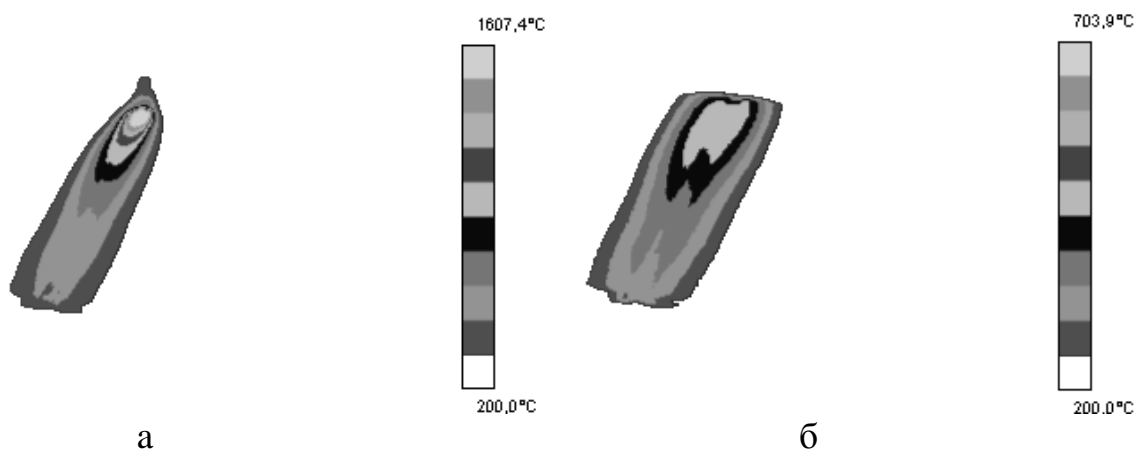
Управление тепловыми потоками (термическим циклом) в соединяемом материале является одной из основных задач технологий сварочного производства. Теоретические и экспериментальные исследования явлений тепло-массопереноса имеют большое практическое значение, наряду, с изучением сложных физико-химических процессов и структурных превращений, протекающих при сварке во время нагрева и охлаждения изделий. В теории сварочных процессов, описываемой отечественными и зарубежными исследователями, значительная роль отводится вопросам определения температурных полей и скоростей охлаждения, что важно при сварке сталей склонных к закалке.

Современные теории и работы [1 – 3] по изучению тепловых процессов при сварке, формулирующие основные понятия и законы распространения температурных полей при сварке, не учитывают ряд значимых факторов (теплообмен с окружающей средой, способ сварки и др.). Расчеты часто содержат сложные функции. Это влечет за собой увеличение времени выполнения расчета, привлечение сложного математического аппарата и вычислительной техники. К тому же, полученные расчетным путем данные часто не совпадают с практическими значениями.

Наиболее точно и адекватно описать тепловые процессы возможно по результатам экспериментальных исследований распределения температурных полей. Экспериментально получить картину распределения температурных полей можно с помощью термопар или тепловизиционной аппаратуры.

Для определения распределения температурных полей при сварке плавлением провели лабораторные исследования. Осуществляли автоматическую сварку в CO_2 пластин 300×150 мм толщиной 8 мм из стали 30ХГСА электродной проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм со скоростью 28 – 30 см/мин. В качестве источника питания использовался сварочный выпрямитель ВСЖ-303. Регистрацию полей осуществляли с помощью тепловизора ThermaCAM P65HS фирмы FLIR. Съемку проводили на протяжении времени сварки одного прохода (60 с) и в течение 60 с после окончания сварки с частотой 5 кад/сек. В результате проведения эксперимента получили изображения температурных полей (термограмм) процесса нагрева ($t = 60$ с) и охлаждения свариваемого изделия ($t = 120$ с) (рисунок 1).

На полученных термограммах отчетливо видна картина изменения температурных полей свариваемого изделия. Однако определить координаты точек, соответствующие конкретной изотерме, по полученным изображениям затруднительно. Это является следствием того, что тепловизионная съемка процесса сварки проводилась под углом к оси шва и под углом к плоскости свариваемых пластин.



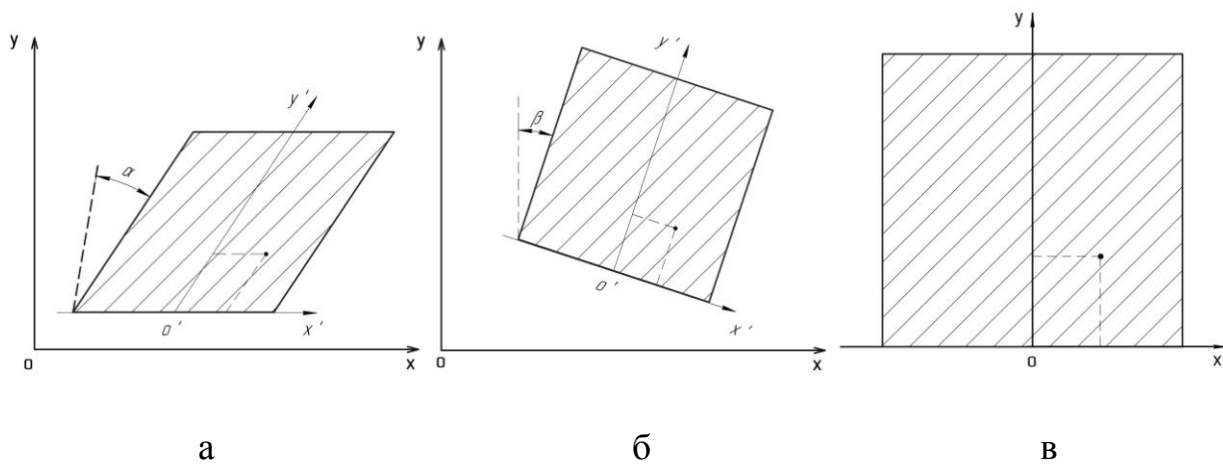
а – сразу после сварки (нагрев) $t = 60$ с; б – через 60 с после сварки (охлаждение) $t = 120$ с

Рисунок 1 – Изображения температурных полей, полученные тепловизором

С целью получения фронтальной картины температурных полей, пригодной для дальнейшего исследования, полученные данные были обработаны с помощью приложения ThermaCAM Researcher и системы MATLAB. Для получения координат точек изотермы, относительно реальных размеров свариваемых пластин были проведены необходимые преобразования. Для этого в приложении ThermaCAM Researcher создается криволинейная системы координат $X'O'Y'$, которая задается вручную пользователем с помощью указателя мыши. Начало координат и направления осей привязываются к определенным точкам изображения свариваемых пластин. Например, ось $O'Y'$ направлена вдоль оси шва в направлении сварки, а ось $O'X'$ к торцам пластин (рисунок 2, а). После поворота плоскости на угол α и поворота системы координат $X'O'Y'$ на угол β (рисунок 2, б) переходим к требуемой прямолинейной системе координат XOY (рисунок 2, в).

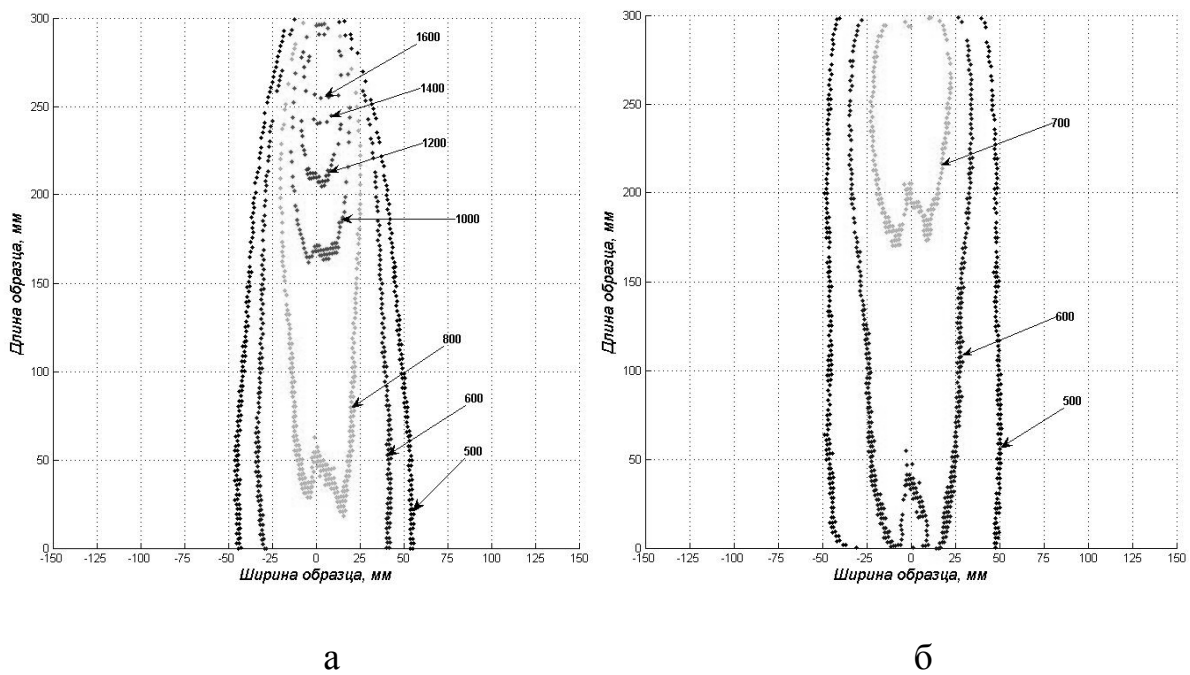
В преобразованной системе координат, находятся координаты точек изотермы с последующим определением размеров путем умножения полученных координат на масштабирующие коэффициенты для введенных осей. Масштабирующие коэффициенты вычисляются исходя из размеров осей в пикселях на изображении и натуральных размеров свариваемых пластин. Данный алгоритм поиска координат был реализован в математическом пакете MATLAB [4] в виде набора m-файлов. Картина температурных полей после обработки исходных термограмм представлены на рисунке 3.

Для расчета температурных полей на поверхности пластины по известным формулам [1 – 3] была разработана компьютерная программа [5]. Распределение температурных полей, рассчитанное по экспериментальному режиму сварки, представлено на рисунке 4.



а – исходное тепловизионное изображение свариваемых пластин;
 б – промежуточный этап преобразования; в – прямолинейная система координат

Рисунок 2 – Схема преобразования координат



а – сразу после сварки (нагрев) $t = 60$ с; б – через 60 с после сварки (охлаждение) $t = 120$ с

Рисунок 3 – Температурные поля после обработки

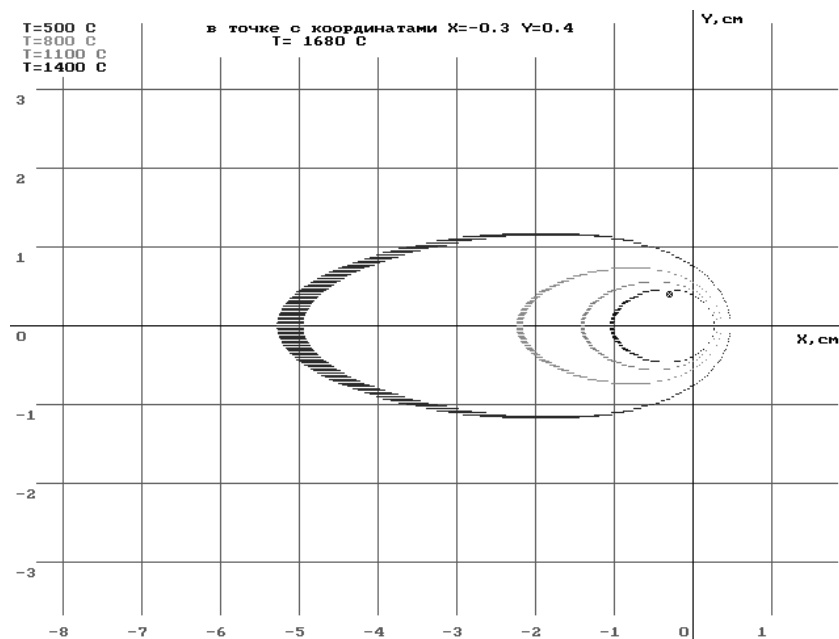


Рисунок 4 – Расчетное распределение температурных полей

Анализ температурных полей, полученных экспериментальным и расчетным путем, показал, что расчетные температурные поля сильно упрощают реальную картину. Следует отметить, что расчетные и экспериментальные значения термограмм почти совпадают в диапазоне от 1600 до 1100 °С и только по ширине сварного шва. Экспериментальные формы изотерм имеют более вытянутую форму вдоль сварного шва и раздвоение на краю удаленном от источника нагрева по сравнению с расчетными значениями (рисунок 4). Эти существенные отличия требуют дополнительного изучения и объяснения.

Библиографический список

1. Фролов В.В. Теория сварочных процессов. М.:Высш. шк. 1988. – 559 с
2. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. – Москва 1951. – 291 с.
3. Березовский Б.М. Математические модели дуговой сварки: в 7 т. Том. 4. Основы тепловых процессов в свариваемых изделиях. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 547 с.
4. Чен К., Джиблин П., Ирвинг А. MATLAB в математических исследованиях: Пер. с англ.– М.: Мир, 2001.– 346 с.
5. Чинахов Д.А., Агренич Е.П. Автоматизированный расчет формы шва и распределения тепла в сварном соединении при сварке плавлением: Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007612644 (РФ) // Бюл. «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем». 2007.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НЕСОСТОЯТЕЛЬНОСТИ КОММЕРЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ГАЛЕВСКИЙ С.Г.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

В 1990-х гг. в Российской Федерации, в связи с переходом к рыночной системе хозяйствования, начался процесс возрождения института несостоятельности (банкротства). Потребность в нем обусловлена самой сутью рыночной системы хозяйствования, основанной на конкуренции как проявлении принципа естественного отбора в экономике. В связи с этим, особый интерес вызывают подходы и методы, позволяющие заблаговременно предвидеть и, как следствие, предотвратить наступление несостоятельности.

В ходе развития экономического анализа было разработано множество методов прогнозирования несостоятельности, зачастую основывающихся на различных подходах, основными из которых являются количественный и качественный. При всех достоинствах количественного подхода, созданным на его основе методикам прогнозирования несостоятельности свойственен ряд неустраняемых недостатков, основным из которых в современных российских условиях хозяйствования является недостаточная теоретическая и эмпирическая обоснованность оценки, обусловленная, в свою очередь, необоснованностью весовых коэффициентов и пороговых значений. Отсутствие в России накопленной статистики по предприятиям-банкротам не позволяет скорректировать методiku их исчисления с учётом отечественных экономических условий, а определение данных коэффициентов экспертным путём или на основе нормативных значений не обеспечивает достаточной точности прогнозирования.

В условиях подобной нехватки статистической информации особую актуальность приобретают качественные методики оценки вероятности банкротства. В отличие от большинства количественных методик, они позволяют учесть отраслевую и иную специфику деятельности предприятия, а также легко могут быть подвергнуты корректировке в случае изменения условий хозяйствования.

Однако качественные методики, в большинстве своем, представляют набор факторов, анализ которых позволяет выявить наличие риска несостоятельности, но не оценить, через какой временной период возможно ее наступление, что существенно снижает их управленческую полезность. В связи с этим представляется целесообразным разработать методiku прогнозирования, указывающую не только на наличие риска несостоятельности, но и на временной интервал, отделяющий предприятие от ее наступления.

Для достижения данной цели прогнозирование несостоятельности

следует осуществлять поэтапно, посредством нескольких итераций. Представляется целесообразным сгруппировать факторы по степени приближенности предприятия к несостоятельности и проводить оценку пошагово, по группам. Таким образом, при использовании данной методики появится возможность не просто указать на наличие риска несостоятельности и диагностировать причины появления такого риска, но и оценить, через какой промежуток времени предприятие может оказаться несостоятельным.

Поскольку при ухудшении ситуации на предприятии, которым неизбежно сопровождается его движение к несостоятельности, в первую очередь страдают интересы собственников, то на более ранних этапах должны преобладать факторы, отражающие их, в то время как на более поздних должна возрастать роль факторов, отражающих интересы кредиторов. Также на более ранних этапах должны преобладать факторы, для оценки которых необходимо использование инсайдерской информации, в то время как по мере приближения предприятия к несостоятельности ухудшение ситуации становится все более очевидным, и на нее начинают указывать и факторы, которые могут быть оценены посредством общедоступной информации.

Всего предлагается выделять три этапа, характеризующих удаленность предприятия от несостоятельности – 3 – 5 и более лет до несостоятельности, 1 – 3 года и менее года. На каждом этапе – по 8 факторов, каждый из которых может быть оценен в 0 («нет»), 1 («нет данных») или 2 («да») баллов. В случае если результаты оценки показывают 8 и более баллов, то существует риск несостоятельности через соответствующий данному этапу промежуток времени. При получении такого результата оценки необходимо перейти к следующему этапу и оценить риск наступления несостоятельности через меньший промежуток времени.

Факторы, позволяющие оценить риск несостоятельности на первом этапе, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Факторы первого этапа комплексной оценки

Факторы	Отражают интересы	Требуемая информация
Потеря ключевых сотрудников аппарата управления	Собственников	Инсайдерская
Потеря ключевых покупателей	Собственников	Инсайдерская
Потеря ключевых поставщиков	Собственников	Инсайдерская
Вынужденные остановки в производственном процессе	Собственников	Инсайдерская
Неэффективные долгосрочные соглашения	Собственников	Инсайдерская
Замедление оборачиваемости по основным видам запасов и товаров	Собственников	Инсайдерская
Отсутствие эффективной системы управленческого учета	Собственников	Инсайдерская
Отказ от исследовательских программ	Собственников	Инсайдерская

Как видно из таблицы 1, на первом этапе оценки используются факторы, отражающие исключительно интересы собственников и требующие для оценки владение инсайдерской информацией. Предполагается, что на данном этапе интересы кредиторов еще не находятся под угрозой, поскольку в современной российской практике предоставление заемных средств на столь длительный срок фактически не осуществляется. Использование исключительно инсайдерской информации обусловлено сложностью предсказания несостоятельности при таком продолжительном периоде прогнозирования. Таким образом, в случае, если пользователь данной методики ни в коей мере не владеет инсайдерской информацией, то результат оценки, независимо от состояния предприятия, составит 8 баллов. Иными словами, в условиях неопределенности и нехватки данных, владеющий лишь общедоступной информацией оценщик заведомо предполагает, что для оцениваемого предприятия существует риск стать несостоятельным через 3 – 5 лет.

Факторы, позволяющие оценить риск несостоятельности на втором этапе, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Факторы второго этапа комплексной оценки

Факторы	Отражают интересы	Требуемая информация
Вынужденное использование новых источников финансирования на невыгодных условиях	Собственников	Инсайдерская
Хроническая нехватка оборотных средств	Собственников	Инсайдерская
Наличие значительного количества сверхнормативных и залежалых запасов и товаров	Собственников	Инсайдерская
Хронические убытки, отражаемые в бухгалтерском балансе	Собственников	Общедоступная
Хроническое устаревание основных фондов	Собственников	Общедоступная
Отказ от выплаты дивидендов, премий, бонусов	Собственников	Общедоступная
Финансирование долгосрочных активов за счет краткосрочных заемных средств	Кредиторов	Общедоступная
Ухудшение отношений с кредитными учреждениями	Кредиторов	Инсайдерская

Как видно из таблицы 2, на втором этапе оцениваются также и факторы, отражающие интересы кредиторов, поскольку под угрозой находятся интересы поставщиков долгосрочного (1-3 года) заемного капитала. Однако интересы поставщиков краткосрочного заемного капитала (до года) все еще в относительной безопасности, поэтому на данном этапе преобладают фак-

торы, отражающие интересы собственников. При этом лишь половина факторов второго этапа использует инсайдерскую информацию, и даже у владеющего исключительно общедоступной информацией пользователя появляется возможность оценить риск несостоятельности.

Факторы, позволяющие оценить риск несостоятельности на третьем этапе, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Факторы третьего этапа комплексной оценки

Факторы	Отражают интересы	Требуемая информация
Отказ от контрагентов в предоставлении коммерческого кредита	Собственников	Инсайдерская
Резкий рост дебиторской задолженности, в том числе просроченной	Собственников	Общедоступная
Снижение чистых активов до критического уровня	Собственников	Общедоступная
Продажа части низколиквидных активов в короткие сроки	Собственников	Общедоступная
Хроническое невыполнение обязательств	Кредиторов	Инсайдерская
Резкий рост кредиторской задолженности, в том числе просроченной	Кредиторов	Общедоступная
Устойчивая тенденция замещения долгосрочных обязательств краткосрочными	Кредиторов	Общедоступная
Многочисленные судебные иски	Кредиторов	Общедоступная

Как видно из таблицы 3, факторы третьего этапа оценки в равной степени отражают интересы как собственников, так и кредиторов. При этом потребность в инсайдерской информации сведена к минимуму, большинство факторов можно оценить с использованием исключительно общедоступных данных.

Поэтапный характер предложенной методики дает возможность не только предсказать наступление несостоятельности, но и оценить временной интервал, отделяющий предприятие от этого состояния. Это может быть полезно не только менеджменту предприятия для разработки и внедрения антикризисных мер, но и кредиторам для принятия решения о сроках предоставления кредита, и инвесторам при выборе горизонта инвестирования. Таким образом, представляется, что управленческая полезность предложенной методики весьма высока, и ее можно рекомендовать к практическому применению широкому кругу лиц.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ПО ФАЗАМ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРЕДПРИЯТИЯ

ВАЛИШЕВСКАЯ Л.Г., МУСАТОВА А.И.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

В условиях финансового кризиса предприятия в своем развитии должны учитывать периодическое чередование фаз жизненного цикла с изменением внешних воздействий и вовремя применять оптимальные финансовые решения в управлении его финансово-хозяйственной деятельностью.

В своем развитии каждое предприятие проходит следующие фазы.

Нулевая фаза – освоение рынка, которая включает регистрацию, становление нового продукта, новой технологии, новых основных фондов, нового персонала и новой системы управления. На этой фазе осуществляется разработка рынка. С точки зрения экономических показателей фаза характеризуется большими издержками и низкой отдачей капитала, возможна отрицательная рентабельность. *Цель фазы – выживаемость организации в условиях конкурентной борьбы, применение нововведений.*

Первая фаза – рост производства, продукции, выручки, прибыли, рост предприятия (реорганизация), увеличение численности управленческого персонала, расширение их функций; происходит децентрализация полномочий. Предприятие закрепляется на рынке и увеличивает долю рынка. *Цель фазы – увеличение объема выручки, рост прибыли для выплаты дивидендов и осуществление будущих нововведений.* Финансовые подцели - оптимизация прибыли, организация финансового контроля.

Вторая фаза – стабилизация производственного процесса и процесса управления. Замедляется и постепенно прекращается рост выручки и прибыли при слабо заменяющихся объемах производства. Сохраняются большие поступления средств, но, не имея возможности наращивать объемы сбыта, предприятие не инвестирует в расширение существующего производства, следовательно, имеет положительный денежный поток, что дает возможность увеличить выплату дивидендов. Предприятие ищет варианты диверсификации и нововведений, выделяются центры финансовой устойчивости, устанавливаются корпоративные отношения. *Цель фазы – сокращение текущих издержек, поддержание приемлемых объемов продаж для загрузки оборудования.* Финансовые подцели – организация финансового контроля, обеспечение финансовой гибкости.

Третья фаза – кризис в развитии предприятия; выражается в снижении объемов производства, сокращение выручки, росте издержек, снижении и отсутствии прибыли, что отражается в отрицательной величине денежного потока или росте задолженности предприятия. В управлении происходит со-

кращение персонала, концентрация полномочий в верхних уровнях иерархии. Предприятие осуществляет жесткий контроль за издержками. *Цель фазы* – избежание банкротства и крупных финансовых неудач, что определяет финансовые подцели: организация финансового контроля, оптимизация риска осуществляемых мероприятий.

При дальнейшем развитии предприятия происходит повторение вышеуказанных фаз. Причем, нулевая фаза для нововведений может совпадать по времени с фазой стабилизации и кризиса. Такое совпадение обеспечивает возрастающий тренд экономических результатов и поддерживает снижение показателей не ниже уровня максимума предыдущего цикла.

На каждой фазе жизненного цикла предприятия используют практически все методы и инструменты финансового менеджмента, но можно выделить наиболее важные из них, исходя из целей этапа. Для каждого предприятия из этого набора необходимо выбрать методическое обеспечение, соответствующее той фазе, на которой она находится.

На основе проведенных исследований и ранжирования методов, а также инструментов финансового менеджмента составлена схема приоритетности использования методов по фазам жизненного цикла предприятия (рисунок 1), где выделены четыре уровня ранжирования «нечетких посылок» (по теории «неточных высказываний»): а) очень важные методы; б) важные методы; в) скорее важные методы; г) возможно важные методы.

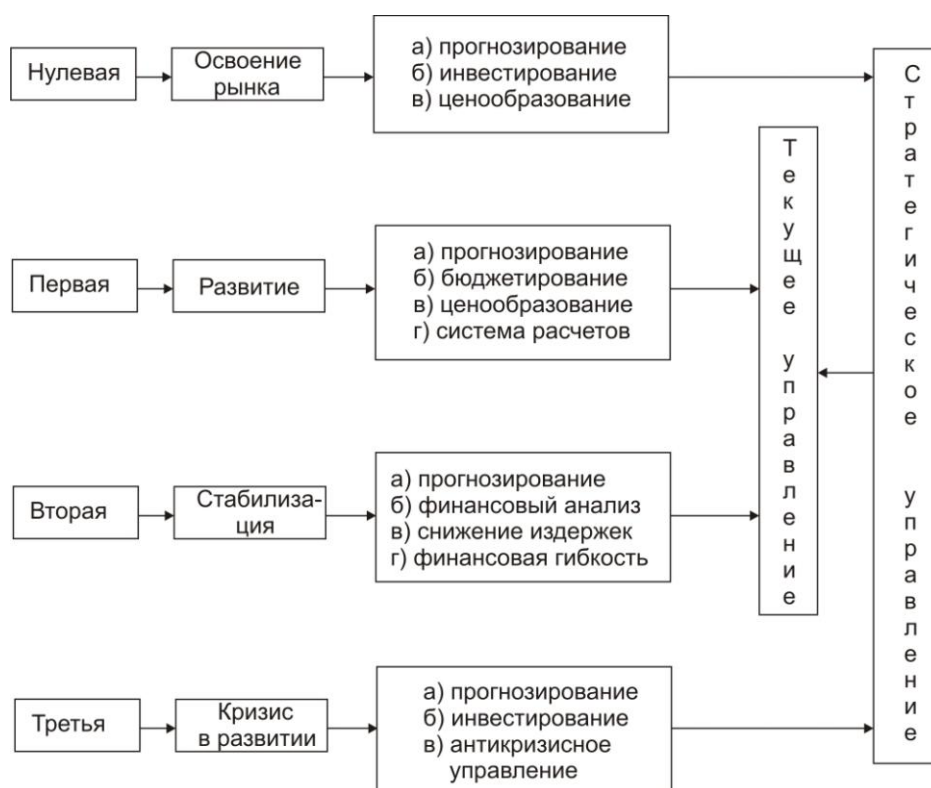


Рисунок 1 – Схема жизненного цикла предприятия и приоритетность использования методов финансового менеджмента

Предложенные методы финансового менеджмента по приоритетности их использования по фазам жизненного цикла рассмотрены на примере одного из металлургических предприятий. Как показал анализ методическое обеспечение по управлению финансово-хозяйственной деятельностью предприятия не соответствовало той фазе, на которой оно находилось; кроме этого не выполнялась приоритетность их использования.

В связи с этим на момент анализа предприятие находилось в кризисной ситуации, которую можно было бы избежать, применяя ранжированные методы при текущем управлении. Так, на второй фазе (в период стабилизации) не проводился финансовый анализ, не осуществлялся жесткий контроль за издержками производства, наблюдалось нечеткое распределение ответственности и полномочий управленческого персонала.

Поэтому на третьей фазе, характеризующей кризис в развитии предприятия необходимо было бы проводить контроль за формированием финансового цикла и осуществлять прогнозирование результатов хозяйственной деятельности. Метод прогнозирования используется почти на всех фазах жизненного цикла. С целью текущего управления данный метод применяется на первой фазе, для стратегического управления – на нулевой и третьей фазах жизненного цикла предприятия.

Применяя схему приоритетности использования методов по фазам жизненного цикла предприятия (по теории «неточных высказываний») выявлено, что очень важным методом управления на третьей фазе в целом по предприятию является прогнозирование, в котором значительным элементом выступает прогноз финансового цикла.

Финансовый цикл можно представить как функцию от ряда взаимосвязанных факторов:

$$\text{ФЦ} = f(\text{Ц}_{\text{пз}}; \text{Ц}_{\text{пп}}; \text{Ц}_{\text{гп}}; \text{Ц}_{\text{дз}}; \text{Ц}_{\text{кз}}), \text{ч (сут.)}$$

где $\text{Ц}_{\text{пз}}$ – цикл хранения производственных затрат;

$\text{Ц}_{\text{пп}}$ – цикл процесса производства;

$\text{Ц}_{\text{гп}}$ – цикл хранения готовой продукции;

$\text{Ц}_{\text{дз}}$ – цикл процесса погашения дебиторской задолженности;

$\text{Ц}_{\text{кз}}$ – цикл процесса погашения кредиторской задолженности.

Формирование финансового цикла осуществляется с учетом производственно-коммерческого цикла (*ПКЦ*) и оперативного цикла (*ОПЦ*) следующим образом:

$$\text{ПКЦ} = \text{Ц}_{\text{пз}} + \text{Ц}_{\text{пп}} + \text{Ц}_{\text{гп}}$$

$$\text{ОПЦ} = \text{ПКЦ} + \text{Ц}_{\text{дз}}$$

$$\text{ФЦ} = \text{ОПЦ} - \text{Ц}_{\text{кз}}$$

Таким образом, для выхода из третьей фазы, то есть из кризисного развития, необходимо на предприятии своевременно прогнозировать показатели, характеризующие результативность его финансово-хозяйственной дея-

тельности. Одним из факторов результативности являются показатели деловой активности предприятия.

Деловая активность в финансовом аспекте проявляется, прежде всего, в скорости оборота денежных средств. От скорости оборота средств зависит размер объема продаж. Финансовое положение предприятия и его платежеспособность показывают насколько быстро денежные средства, вложенные в активы превращаются в реальные деньги. Анализ деловой активности предприятия выявил основные причины изменения длительности производственно-коммерческого, операционного и финансового цикла в целом. Одной из причин изменения длительности этих циклов является отсутствие нормативной базы, которая влияет на качество управления активами.

С целью эффективного управления процессом ускорения платежного оборота необходимо разработать нормативы длительности финансового цикла с целью использования их в прогнозных ситуационных вариантах.

УДК 331.108.26

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТОВ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ

Зайнутдинов Х.Ф.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

При оценке эффективности оргпроектов по совершенствованию системы управления персоналом следует различать:

Коммерческую (финансовую) эффективность $F(t)$, которая определяется соотношением финансовых затрат $Z(t)$ и результатов $P(t)$, обеспечивающих требуемую норму доходности, т.е. поток реальных денег:

$$F_i(t) = P_i(t) - Z(t), h$$

где i – вид деятельности.

Бюджетную эффективность B_i , показатели которой отражают влияние результатов проекта на доходы и расходы федерального (регионального) местного бюджетов, т.е. бюджетный эффект:

$$B_i = \Delta_i - P_i,$$

где Δ_i – доходы соответствующего бюджета;

P_i – расходы в связи с осуществлением данного проекта.

Народнохозяйственную экономическую эффективность, показатели которой отражают эффективность проекта с точки зрения интересов общества в целом, а также для участвующих в нем регионов, отраслей, организаций. При расчетах показателей этой эффективности в состав результатов проекта могут включаться: конечные производственные (например, выручка о реали-

зации на внутреннем и внешнем рынках всей производственной продукции); социальные и экономические; кредиты и займы иностранных государств, банков, фирм и т.п.; косвенные финансовые, обусловленные осуществлением проекта (изменение доходов сторонних организаций и граждан, рыночной стоимости земельных участков, зданий и иного имущества, затраты на консервацию/ликвидацию производственных мощностей, потери природных ресурсов и имущества от возможных аварий и других чрезвычайных ситуаций и т.п.).

Социальная эффективность проектов совершенствования системы и технологии управления персоналом проявляется в возможности достижения позитивных (обеспечение персоналу надлежащего жизненного уровня, реализация и развитие индивидуальных способностей работников, предоставление свободы и самостоятельности, благоприятный социально-психологический климат), а также во избежание отрицательных (ущерб, наносимый здоровью персонала неблагоприятными условиями труда, наносимый личности: интеллектуальные и физические перегрузки/недогрузка, стрессовые ситуации и т.п.) с социальной точки зрения изменений в организации.

Затраты на совершенствование системы и технологии управления персоналом включают текущие и единовременные затраты:

- а) текущие;
 - основания и дополнительные затраты службы управления персоналом;
 - отчисления на социальное страхование;
 - командировки;
 - канцелярские и типографические, почтово-телеграфные и телефонные;
 - содержание и эксплуатация зданий, помещений, инвентаря, ЭВМ и оргтехники;
 - подготовка, повышение квалификации персонала;
 - прочие расходы.
- б) единовременные:
 - НИОКР;
 - сопутствующие капитальные вложения в производство;
 - капитальные вложения в управление, связанные с внедрением мероприятий;
 - сопутствующие капвложения при использовании продукции, произведенной после осуществления мероприятий.

Издержки – это то, чем необходимо пожертвовать ради обладания какими-либо ресурсами/выгодами. Издержки включают затратную (потребленная часть издержек) и активную (то, что способно принести будущую пользу/доход) составляющие. При анализе человеческих ресурсов обычно используют следующие понятия:

- первоначальные издержки на персонал включают затраты на писк,

приобретение и предварительное обучение работников;

– восстановительные издержки на персонал (издержки замещения) – это сегодняшние затраты, необходимые для замены работающего сейчас работника на другого, способного выполнять те же функции. В зависимости от объекта бывают:

1) позиционные, т.е. в ситуации, если руководитель желает заменить уволенного работника на человека с такими же профессиональными навыками, то издержки относятся не к личности работника, а к его рабочему месту/позиции.

2) личностные, т.е. в ситуации, когда руководитель стремится заменить не деятельность работника на рабочем месте, а все его личные способности, то издержки на такую замену относятся не к месту, а к личности.

Затраты на персонал – это интегральный показатель, включающий совокупность расходов, связанных с привлечением, вознаграждением, стимулированием, решением проблем, организацией работы и улучшением условий труда персонала. Эти затраты частично подлежат отнесению на себестоимость продукции, а частично осуществляются за счет прибыли.

Расходы на персонал являются основой для разработки производственных и социальных показателей организации. Все регулируется посредством:

– численности персонала (ограничения числа работающих, прекращения приема на работу, активное сокращение персонала);

– денежных выплат (замораживание выплат сверх тарифов, пересчет повышения тарифов на внетарифные выплаты, корректировка внутренних фондов социального обеспечения);

– анализа общих расходов и путей их снижения;

– повышение эффективности и соизмерения результатов и затрат.

Основными задачами анализа затрат на персонал являются:

– предоставить информацию, необходимую для принятия решения в области управления персоналом как для менеджеров по персоналу, так и для высшего руководства;

– обеспечить менеджеров методами численного измерения стоимости человеческих ресурсов, необходимых для принятия конкретных решений;

– мотивировать руководителей думать о людях не как о «затратах», которые следует минимизировать, а скорее как об «активах», которые следует активизировать.

Анализ затрат на персонал проводится с помощью следующих показателей: общие и удельные затраты; доля затрат в объеме реализации; затраты на одного сотрудника; затраты на один производительный час.

Оценка результатов деятельности подразделений управления организацией – это систематический, четко организованный процесс, нацеленный на интенсификацию управленческого труда, организацию здоровой конкуренции между подразделениями управления организации, соблюдение принципа социальной справедливости, принципа оплаты по труду.

Система критериальных показателей оценки деятельности службы управления персоналом включает:

– показатели общей экономической эффективности работы организации (прибыль, себестоимость продукции, затраты на 1 рубль продукции, затраты на управление, суммарный годовой эффект от внедрения новой техники и технологии и т.п.);

– показатели качества, сложности и результативности труда (производительность труда, соотношение темпов ее роста и заработной платы, среднегодовая зарплата работников, общие потери рабочего времени в расчете на одного работника, уровень сдачи продукции ОТК с первого и предъявления, выход высших сортов продукции и т.п.);

– показатели социальной эффективности работы службы управления персоналом (текучесть персонала, уровень трудовой дисциплины, соотношение различных категорий работающих, надежность работы персонала, равномерность его загрузки, социально-психологический климат в коллективе и т.п.);

– частные оценочные показатели, непосредственно отражающие специфику и результаты деятельности службы управления персоналом (снижение текучести кадров и потерь рабочего времени, сокращение случаев травматизма, уровень обеспечения организации кадрами, уровень квалификации кадров, уровень охвата работающих различными формами переподготовки и повышения квалификации и т.п.);

– показатели эффективности отдельных кадровых мероприятий и программ.

УДК 658.512.012.2

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И АЛЬТЕРНАТИВА ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ

Зайнутдинов Х.Ф., Бобко Т.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Планирование производства включает планирование производственной программы и планирование выполнения производственной программы. Содержанием планирования производственной программы являются ответы на вопросы: какие изделия, и в каком количестве должны быть произведены?

В рамках планирования производственной программы определяются дизайн продукции, ее ассортимент и объем выпуска. Задачей планирования дизайна является выяснение, позволят ли имеющиеся факторы обеспечить изготовление изделий с требуемым качеством. Если это невозможно, то необходимо либо закупить необходимые факторы, либо изменить свойства изделия. Задачей планирования ассортимента является обеспечение компо-

мисса между сбытом, который заинтересован в изготовлении по возможности широкого ассортимента, и производством, которое не заинтересовано в широком ассортименте, так как он требует специального оборудования, частой его переналадки, что ведет к росту затрат.

Компромиссом является упрощение ассортимента с помощью агрегирования: при известной (внешней) степени многообразия унифицируются многочисленные (внутренние) компоненты типов изделий. Выходом является и уменьшение собственной доли в стоимости конечного продукта.

Задачами планирования объема выпуска является согласование объема производства и объема сбыта продукции.

Планирование объема производства в значительной степени зависит от того, идет ли речь о предприятии, выпускающем один вид продукции или несколько.

Если фирма выпускает один вид изделий, то согласование объема производства и сбыта может осуществляться при одном из двух возможных вариантов сбыта: объем сбыта неизменен на протяжении длительного периода времени или объем сбыта подвержен сезонным колебаниям.

При первом варианте производственные мощности фирмы и объем выпускаемой продукции должны приспособляться к сбыту. Необходим лишь страховой запас готовой продукции на случай остановки производства.

При втором варианте возможны различные альтернативы:

1. Производственные мощности приспособляются к максимальному спросу, это означает, что созданные колебания должны сопровождаться изменениями численности занятых работников фирмы. При высоких расходах на оборудование будут иметь место максимальные затраты на хранение готовой продукции (принцип синхронизации).

2. Производство осуществляется при некоторой средней численности занятых. Это позволяет в период максимального сезонного спада спроса создавать запасы готовой продукции, достаточных для удовлетворения «пикового» спроса. При незначительных производственных запасах увеличиваются складские расходы (принцип эмансипации).

3. Фирма заинтересована в промежуточном решении, при котором общие затраты для одного сезонного цикла минимальны. Однако, при использовании альтернативы, нужно иметь в виду, что содержание мощности на среднем уровне в период сезонного спада невозможен для фирм сферы услуг. Например, общественный транспорт должен ориентировать свою мощность на максимальную нагрузку, что частично объясняет его хронические финансовые проблемы.

4. Часто в качестве средства выравнивания сезонных колебаний используется диверсификация. Фирма включает в производственную программу такие изделия, выпуск которых возможен на имеющемся оборудовании, но для которых сезонные колебания спроса прямо противоположны по сравнению с традиционной продукцией. Одновременно мощности приспособляются к максимальному спросу.

Таким образом, на фирме сезонные колебания спроса могут компенсироваться посредством регулирования занятости работников, складских запасов или диверсификации выпускаемой продукции. Из всех альтернатив наиболее гибкой является альтернатива регулирования складских запасов.

Если фирма выпускает несколько видов продукции, то при согласовании объема производства и сбыта необходимо учитывать, что отдельные изделия могут выпускаться различными партиями, почти все оборудование может быть задействовано на изготовление всех видов продукции, могут быть значительными различия во времени изготовления разных видов изделий на различном оборудовании. Это значительно усложняет реализацию возможных альтернатив согласования производства и спроса.

Если фирма в такой ситуации стремится получить максимальную прибыль, то она должна выпускать больше таких видов продукции, которые:

- 1) загружают меньшее количество различного оборудования;
- 2) требуют меньше времени обработки;
- 3) приносят большую прибыль на одно изделие.

В каждом конкретном случае выбор производственной программы индивидуален, зачастую изделия, приносящие максимальную прибыль, требуют более интенсивного использования оборудования. Однако альтернативный выбор производственной программы требует почти всегда численных обоснований.

УДК 628.512:669.183.2

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЧИСТКИ ВЫБРОСОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ГЛУБОКИМ КАТАЛИТИЧЕСКИМ ОКИСЛЕНИЕМ

МЕДВЕДСКАЯ О.О., ПАВЛОВИЧ Л.Б.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Характерной особенностью выбросов черной металлургии является наличие значительного количества выбросов пыли и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), в том числе бенз(а)пирена (БП), который в настоящее время рассматривается как наиболее активный канцероген и является индикатором канцерогенности.

Сжигание любого вида топлива (угля, кокса, мазута, нефти, природного, доменного, коксового газа и др.) сопровождается выделением в атмосферу ПАУ, в том числе БП, который образуется при высоких температурах из алифатических и прочих ароматических углеводородов путем взаимодействия свободных радикалов. При сжигании топлива БП начинает образовыв-

ваться уже при температурах 300 – 400 °С, основная масса – при температуре 700 °С и выше. Полное разрушение БП наблюдается при температурах 1500 – 1700 °С.

В черной металлургии основным источником выделения в атмосферу ПАУ, в том числе БП, являются дымовые выбросы отопительных систем и технологические выбросы каждого металлургического производства. На образование БП влияет вид топлива, режим его сжигания, сырье и температуры технологических процессов. БП обладает способностью хорошо сорбироваться на различных твердых материалах – частицах угольной, коксовой, металлургической пыли, сажи, золы, известковых материалах, кремнеземе и др. В атмосфере БП находится в трех агрегатных состояниях: в виде твердого продукта, адсорбированного на пылевых выбросах, аэрозоля и паров. Удельные выбросы в атмосферу БП производствами ЧМ представлены в таблице 1.

Содержание газообразных выбросов от общего удельного выброса вредных веществ в металлургических процессах составляет 85,4 %, и практически они не очищаются. Выбор метода очистки зависит не только от природы улавливаемого вещества, но и от условий производства. Исследования, проведенные в этом направлении в России и за рубежом, показали, что такие загрязнители атмосферы, как оксид углерода, углеводороды, оксиды азота и другие, содержащиеся в промышленных газах, целесообразно обезвреживать каталитическим методом.

Цель работы – исследование и разработка энергосберегающих технологий очистки выбросов металлургического производства от полициклических ароматических углеводородов, в том числе канцерогенных веществ.

Таблица 1 – Удельный выброс бенз(а)пирена в атмосферу производствами черной металлургии

Тип производства	Удельный выброс бенз(а)пирена
Агломерационное, кг/т агломерата	0,022
Коксохимическое, кг/т кокса	0,28
Доменное, кг/т чугуна	0,000436
Мартеновское, кг/т стали	0,0011
Конверторное, кг/т стали	0,0172

Поставленная цель достигается глубоким каталитическим окислением выбросов от оксида углерода, углеводородов, ПАУ, в том числе бенз(а)пирена и др. в токе воздуха на катализаторах на базе металлургических шлаков.

Каталитическая очистка газообразных выбросов в атмосферу основана на гетерогенном катализе и служит для превращения примесей в безвредные соединения или в соединения, легко удаляемые из газовой смеси.

Основные преимущества каталитического метода сжигания по сравнению с ближайшим аналогом – термическим способом – заключается в ряде

его технологических и эксплуатационных свойств, а именно: высокой эффективности и экономичности, отсутствии образования вторичных вредных продуктов. Достоинства метода: высокая степень очистки, компактность, небольшая металлоемкость, высокая производительность, легкость автоматического управления.

Каталитический метод за счет снижения температуры процесса до 200 – 400 °С (таблица 2) в несколько (2,0 – 2,5) раз дешевле термического сжигания из-за соответствующего сокращения расхода энергии на подогрев газов, обеспечивает более полное удаление примесей (97,0 – 99,9 %).

Каталитическое сжигание в стационарном режиме протекает при более низких температурах, чем температура воспламенения органических веществ, а это повышает безопасность очистки. Метод является одним из наиболее перспективных, если учесть его возможности: перерабатывать многокомпонентные газы с малыми начальными концентрациями вредных примесей, добиваться высоких степеней очистки, вести процесс непрерывно и избегать в большинстве случаев образования вторичных загрязнителей.

Таблица 2 – Температура полного окисления веществ при различных способах очистки

Вещество	Температура сгорания, °С	
	Каталитический способ	Термический способ
Бензол	204	560
Толуол	204	480
Формальдегид	149	430
Метилэтилкетон	246	516
Оксид углерода	160	609

Особенность каталитической очистки газов состоит в том, что очищаются большие объемы отходящих газов с малым содержанием примеси. Кроме того, газ очищается одновременно от нескольких вредных компонентов. Разработка каждого каталитического процесса состоит из трех этапов: выбор катализатора, выбор режима процесса, выбор реактора.

Основа процесса – катализаторы, которые определяют, в основном, и производственные затраты на установку очистки и эксплуатационные расходы. Катализаторы должны обладать следующими свойствами; высокой активностью и селективностью к извлекаемому компоненту, пористой структурой, стойкостью к каталитическим ядам, механической прочностью, низкой температурой зажигания, большим температурным интервалом работы, термостойкостью, низким гидравлическим сопротивлением, небольшой стоимостью и доступностью.

Разработана серия насыпных катализаторов для очистки выбросов металлургических производств от СО, углеводородов, ПАУ, в том числе бенз(а)пирена, на основе металлургических шлаков. Это кобальтовые, меднокобальтовые, хромокобальтовые окисные катализаторы на базе как рядо-

вых отвалных металлургических шлаков: мартеновского, конверторного, так и передельных шлаков: ванадиевого, феррохромового.

Температура полного превращения СО на шлаковых катализаторах 220 – 345 °С, о-ксилола – 430 °С при объемной скорости 10 тыс.ч⁻¹. Достоинства катализаторов: термостойкость, высокая механическая прочность, дешевизна и доступность очистки выбросов черной металлургии для организации процессов.

В связи с тем, что наибольший удельный выброс в атмосферу канцерогенных веществ (таблица 1) приходится на коксохимическое производство, предлагается обезвреживание методом глубокого каталитического окисления для очистки организованных выбросов с воздушников технологического оборудования цехов улавливания; смолоперерабатывающего, пекококсового цехов; теплоносителя процессов производства формованного кокса, дымовых газов коксовых печей.

Выполнены проекты на очистку выбросов на очистке СПЦ Алтайского КХЗ, ЦФА ЗСМК, УСКТ ЗСМК. Функционируют установки каталитической очистки вредных выбросов СПЦ, цеха смолодолонитовых огнеупоров на Украине.

На рисунке 1 приведен пример технологии глубокого каталитического окисления. Степень очистки при этой технологии достигает 95 – 98 %, в том числе 99 % по бенз(а)пирену.

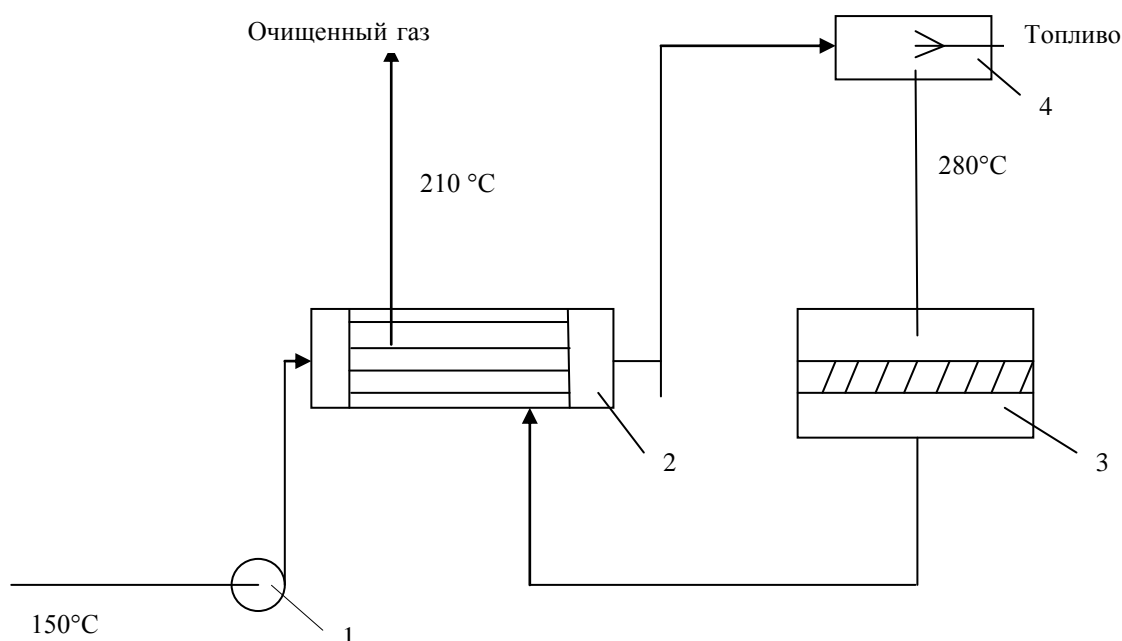


Рисунок 1 – Схема установки каталитической очистки газов от углеводородов КАТОКС для сушильной печи

Вклад стоимости шлипового катализатора в капитальные затраты на установки каталитической очистки различной производительности (10 –

80 тыс.м³/час) составляет 5 – 10 % против 30 % для используемых в настоящее время катализаторов.

УДК 331.108.45

РЕОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА

ПЕТРОВ Е.В., МУРАТОВ В.М.

*НОУ «Региональный центр подготовки персонала «Евраз-Сибирь»
г. Новокузнецк*

Трансформация глобального кризиса в цивилизационный сдвиг актуализируют проблемы, связанные с профессиональным образованием. С одной стороны, необходима внятная, реальная, координирующая образовательная политика России, как на федеральном, так и на региональном уровнях: разработка прогнозов, сценариев, стратегий. Они должны опираться не на амбициозные намерения, а на соответствующую базу знаний. Необходима смена ориентации управления образованием с правильного выстраивания процессов на достижение конкретных образовательных результатов, экономических и социальных эффектов [1, 3].

С другой стороны, необходимо решать проблемы, связанные с оперативным обеспечением различных сфер деятельности эффективными человеческими ресурсами. После смены социально-экономической формации, практически, во всех отраслях экономики проявилась профессиональная и социальная деградация трудовых ресурсов [Яндекс: Деградация трудовых ресурсов – 3 млн. стр.]. Поэтому проблемы подготовки, развития и логистики трудовых ресурсов становятся все более приоритетными. Без их решения невозможно развитие регионов и получение Российской Федерацией статуса инновационного, экономически развитого государства.

Ликвидация государственного планирования трудовых ресурсов и корпоративных учебных подразделений ослабила сложившуюся систему актуализации знаний персонала, вызвала многие негативные последствия. Резко сократился объем и качество непрерывного корпоративного обучения работников с целью актуализации профессиональных, социальных и личностных компетенций, развития работников. В настоящее время в РФ на уровне государственных структур и работодателей осознается необходимость реорганизации работы с трудовыми ресурсами. Федеральное агентство по науке и инновациям Министерства образования и науки РФ проводит соответствующую политику [1]. Необходимость изменений в национальных системах подготовки и использования трудовых ресурсов поддерживается Всемирным банком [3]. Изменения стимулируются глобализацией.

Реинжиниринг повышения квалификации персонала в России активно развивается. В региональных технопарках создаются подразделения, целями которых являются разработка и тиражирование инноваций, опережающее

обучение в сфере подготовки, переподготовки и повышении квалификации руководителей, специалистов, рабочих и служащих предприятий, организаций и учреждений. При этом учитываются особенности требований работодателей к персоналу.

Организации, независимо от отрасли и формы собственности, будут отдавать предпочтение тем работникам, которые лояльны к корпорации, мотивированы на результативный труд, имеют необходимые профессиональные, социальные и личностные компетенции, при этом легко адаптируются к быстрым изменениям внутренней и внешней среды, быстро обучаемы, способны работать в условиях неопределенности и на изобретательском уровне.

Можно предполагать, что обострится необходимость комплексного решения маркетинговых, образовательных и логистических проблем трудовых ресурсов. Потребуется более широкая интеллектуальная работа по каждому направлению:

- прогноз изменений в общественном производстве при переходе от индустриального общества к постиндустриальному, приоритетами которого будут нравственность, знания и инновации;

- анализ состояния, востребованности и прогноз изменений человеческих ресурсов;

- организация обучения работников с учетом прогнозируемых потребностей работодателей;

- предоставление работодателям человеческих ресурсов в логистическом режиме.

В настоящее время эти функции дифференцированно выполняются центрами занятости населения, консалтинговыми, маркетинговыми, рекрутерскими и образовательными фирмами. Разобщенное обслуживание отдельных направлений работы с персоналом не может решить всех назревших проблем трудовых ресурсов. Можно предвидеть, что координация выполнения или комплексная реализация перечисленных функций в одной организации даст ряд синергетических преимуществ по сравнению с существующим положением.

Положительную роль в реализации комплексного подхода к решению проблем обеспечения организаций эффективными кадровыми ресурсами могут сыграть подразделения корпоративного обучения предприятий, выведенные на аутсорсинг или в дочерние предприятия. К тому есть основания: зрелый персонал; материальная база; накопленные знания. Нарботаны технологии взаимодействия с производственными структурами, организации учебного процесса, методам обучения взрослых, обучению работников широкого спектра специальностей и должностей. Масштабное участие таких образовательных учреждений в реорганизации подготовки и в рациональном использовании человеческих ресурсов сдерживается тем, что необходимо значительное изменение состава их функций, целей, задач и технологий работы с персоналом. Необходимы новации не только в образовательной деятельности, но и освоение новых функций. В функции учреждений, обеспечи-

вающих подготовку и переподготовку персонала, целесообразно включить аудит, инжиниринг, мониторинг трудовых ресурсов, маркетинговые исследования потребностей организаций в расширении профессиональных, социальных и личностных компетенций работников; оценку персонала; консалтинг; комплексное профессиональное опережающее обучение; использование педагогических, дидактических инноваций, принципов логистики в перемещении персонала, а также отбор, подбор и трудоустройство безработных граждан. Такой состав функций вытекает из социально-экономических потребностей предприятий, свободного рынка труда и интересов работников. Подразделения корпоративного обучения, получившие юридическую самостоятельность и возможность работы на свободном рынке будут вынуждены расширять функциональную деятельность: осваивать маркетинг и логистику персонала для поддержания своей конкурентоспособности. При наличии в лицензии права на маркетинговую, образовательную и рекрутинговую деятельность они смогут комплексно решать вышеуказанные проблемы. При этом для них полезно взаимодействие как непосредственно с работниками, потребителями, так и с организациями, связанными с отдельными направлениями работы по персоналу.

Наряду с освоением новых функций – аналитического и практического маркетинга, логистики трудовых ресурсов, образовательным учреждениям уже в настоящее время необходимо развивать учебный процесс с учетом требований прогнозируемого спроса и предложений на рынке трудовых и образовательных ресурсов в после кризисное время. Можно ожидать, что неизбежно возрастет сложность, динамичность и компьютеризация трудовых процессов. Следовательно, эти изменения необходимо принимать во внимание при развитии учебного процесса, в создании новых образовательных программ. Технологии передачи знаний должны включать рациональные научные новации в области дидактики, шире использовать работающие стенды и модели. Необходимо развивать дистанционное обучение, как в техническом, так и в дидактическом отношении. Большую роль в повышении качества, оптимизации, и конкурентоспособности обучения играют методы оценки эффективности и результативности обучения. Их развитие должно быть также задачей образовательных учреждений.

НОУ «Региональный центр подготовки персонала «Евраз-Сибирь» предусматривает в стратегическом развитии решение указанных выше задач.

Библиографический список

1. Концепция реформы профессионального образования. Центр стратегических разработок. – Москва, 2004.
2. Образование в Российской Федерации. Статистический ежегодник. Госкомстат, 2004.
3. Модернизация российского образования: достижения и уроки. – М.: Всемирный банк, 2004.

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРСОНАЛОМ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА

ПЕТРОВ Е.В., ХАМОНТОВА Н.В.

*Негосударственное образовательное учреждение
«Региональный центр подготовки персонала «Евраз-Сибирь»
г. Новокузнецк*

На состояние рынка труда в 2009 году продолжают влиять затянувшиеся кризисные процессы в экономике, социально-трудовой сфере, а также неблагоприятная демографическая ситуация, разбалансированность спроса и предложения рабочей силы.

Кризисные явления в экономике 2008 – 2009 гг. влияют на рост высвобождения работников с нерентабельных и обанкротившихся предприятий, возрастает число обратившихся граждан в городскую службу занятости. При сокращении объема городского банка вакансий наблюдается тенденция роста зарегистрированной безработицы. В таблице 1 представлена динамика числа не занятых и безработных граждан по г. Новокузнецку.

Таблица 1 – Динамика числа не занятых и безработных граждан

Период	Число незанятых, состоящих на учете в службе занятости, чел	Имеют статус безработного	Число безработных в % к предыдущему месяцу	Число безработных в % к соответствующему месяцу предыдущего года
2008				
Март	4240	3097	98,9	108,7
Июнь	3529	2715	93,3	90,2
Сентябрь	3553	2429	95,0	75,7
Декабрь	4567	3441	137,6	103,0
2009				
Январь	5392	4180	121,5	125,2
Февраль	7450	6248	149,5	в 2 раза
Март	9105	7879	126,1	в 2,5 раза
Апрель	10092	9085	115,4	в 2,9 раз
Май	10333	9532	104,9	в 3,3 раза
Июнь	10197	9544	100,1	в 3,5 раза

Глобальный финансовый кризис оказал сильное негативное влияние на экономику крупных добывающих и обрабатывающих предприятий города и региона. Падение спроса на металл на сырьевых рынках поставил вопрос о снижении объемов производства и как следствие снижение численности ра-

ботающих на этих предприятиях.

Суть снижения численности персонала заключается в необходимости свести количество персонала, работающего на предприятии, к минимуму, при выполнении следующих ограничений:

- должно быть обеспечено гарантированное качественное выполнение заданной производственной программы;

- затраты на персонал не должны превышать некоторую заранее определенную величину;

- сохранена лояльность к предприятию как работающего, так и уволенного персонала;

- сохранена работоспособность коллектива в условиях нестабильности производства и сокращения персонала.

- структуру и систему управления предприятиями следует выстраивать таким образом, чтобы можно было предупреждать ситуации, когда требуется сокращение численности персонала.

В таблице 2 представлены мероприятия, являющиеся альтернативой сокращению персонала. Все мероприятия делятся по времени их реализации: краткосрочные, среднесрочные, долгосрочные и перспективные. По затратам: не затратные, малозатратные и затратные.

Мероприятия разделены на четыре группы:

- первая группа – мероприятия для управления численностью без сокращения штатов. Эти мероприятия, как правило, не затратные или мало затратные, и сохраняют лояльность как работающего, так и уволенного персонала;

- вторая группа – мероприятия мотивирующие персонал к увольнению на пенсию. Данные мероприятия затратные, но позволяют сохранить персонал и снизить вероятность проведения сокращений на предприятии;

- третья группа – мероприятия, формирующие трудоспособный коллектив в условиях сокращения персонала. Для того чтобы эффективно расставить персонал на имеющиеся вакантные позиции, его необходимо аттестовать, что позволит в условиях жесткой конкуренции за рабочие места избавиться от неоднократных нарушителей трудовой дисциплины и сохранить трудоспособный коллектив, попавший в зону риска сокращения;

- четвертая группа – мероприятия, рассчитанные на перспективу. Они носят при реализации долгосрочный характер, в будущем позволяют избежать сокращения, быстро сбросить численность и тем самым сократить издержки предприятия.

Все мероприятия, представленные в таблице 2, являются антикризисными и позволят не только сохранить персонал, снизить издержки, но и в условиях кризиса сохранить лояльность персонала к предприятию.

Таким образом, с персоналом, попавшим в зону сокращения, проводится системная работа с целью снижения социально-экономического напряжения.

Таблица 2 – Мероприятия, являющиеся альтернативой сокращению штатов

Мероприятия		Плюсы и минусы проводимых мероприятий	Соответствие проводимых мероприятий законам РФ	Затраты на мероприятия	Социальная и экономическая эффективность
Управление численностью без сокращения персонала	Ограничение приема на работу	«+» Сохранение вакантных позиций для персонала, попавшего в зону риска	Законно	Не несет затрат	Сохранение персонала, снижение вероятности проведения сокращений на предприятии
Управление численностью без сокращения персонала	Перевод работников попавших в зону риска высвобождения на имеющие вакансии внутри предприятия	«+» Сохранение персонала попавшего в зону риска сокращения. «-» Ротация персонала внутри предприятия требует затрат.	Законно, зависит от согласия работника	Затраты на подготовку, переподготовку	Сохранение персонала, минимизация сотрудников, уволенных по сокращению штата
	Применение с согласия работника в качестве временной меры режима неполного рабочего времени (неполного рабочего дня, неполной рабочей недели)	«+» Сохранение рабочего места за персоналом, сокращение издержек, снижение вероятности проведения сокращений на предприятии. «-» Означает скрытую безработицу со всеми сопутствующими ей недостатками	Законно, в соответствии с ТК РФ ст. 74 ч. 5	Не несет затрат	Сохранение рабочего места за персоналом, снижение вероятности проведения сокращений на предприятии
	Вынужденный простой с сохранением 2/3 средней заработной платы (при отсутствии объемов производства по вине работодателя)	«+» Сохранение рабочего места за персоналом, сохранение доходов, недопущение сокращения.	Законно, в соответствии с ТК РФ ст. 157	Затратно	Сохранение рабочего места за персоналом, недопущение сокращения
	Предоставление по желанию работников отпусков без сохранения заработной платы (по личному заявлению)	«+» Сокращение издержек на персонал. «-» Затрудняет координирование персоналом.	Законно	Не несет затрат	Сокращение издержек на персонал

	НИЮ)				
--	------	--	--	--	--

Продолжение таблицы 2

Мероприятия		Плюсы и минусы проводимых мероприятий	Соответствие проводимых мероприятий законам РФ	Затраты на мероприятия	Социальная и экономическая эффективность
Мотивирующие персонал к увольнению на пенсию	Мотивация к увольнению на досрочную пенсию	«-» Потеря опытных работников. «+» Создание вакансий для персонала, попавших в зону риска сокращения.	Законно, зависит от согласия работника при выплате соответствующих компенсаций	Затратно	Сохранение персонала, минимизация сотрудников, уволенных по сокращению штата
	Мотивация к увольнению на пенсию (лиц, достигших пенсионного возраста)	«-» Потеря опытных работников. «+» Сохранение персонала, попавшего в зону риска сокращения.	Законно, зависит от согласия работника при выплате соответствующих компенсаций	Затраты на компенсацию, единовременные выплаты	Минимизация сотрудников, уволенных по сокращению штата
Формирование трудоспособного коллектива в условиях сокращения персонала	Применение процедуры аттестации	«-» Занимает много времени, затратно, увеличивает психологическое напряжение в коллективе.	Законно	Затратно	Распределение должностей в соответствии с требованиями, предъявляемыми к должности
	Увольнение в соответствии с ТК РФ за неоднократное нарушение трудовой дисциплины	«-» Возможны судебные издержки. «+» Создание вакансий для персонала, попавшего в зону риска сокращения.	Законно, увольнение по инициативе работодателя (ст. 81 п. 5 и 6 ТК РФ)	Затратно при наличии судебных издержек	Сохранение персонала, создание морально устойчивого коллектива.
Перспективные	Применение срочных трудовых договоров (с пенсионерами, временными и сезонными работниками)	«+» Быстрый сброс численности, отсутствие затрат на различные виды выплат в связи с сокращением.	Законно	Не несет затрат	Быстрый сброс численности, отсутствие затрат на различные виды выплат в связи с сокращением
	Перевод персонала в дочерние бизнес-единицы, выделение непрофильных видов деятельности в до-	«+» Снижение численности персонала головной компании, сокращает издержки на персонал, обеспечение ло-	Законно	Затратно	Снижение численности персонала головной компании, обеспечение лояльности к предпри-

	черные предприятия	яльности к предприятию как оставшегося, так и уволившегося персонала			ятию как оставшегося, так и уволившегося персонала
--	--------------------	--	--	--	--

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ ЧИСЛЕННОСТИ РАБОТНИКОВ И КАДРОВОГО РЕЗЕРВА ПРЕДПРИЯТИЯ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

Фокин К.Б.

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

В условиях мирового финансового кризиса одним из конкурентных преимуществ является снижение издержек при производстве товарной продукции. Значительную долю издержек в общей себестоимости составляют затраты на персонал организации и, в частности, затраты на заработную плату. Одной из основных количественных характеристик персонала является численность работников организации. Таким образом, научно обоснованное снижение численности персонала будет способствовать снижению затрат.

Нормирование численности работающих, по мнению А.Я. Кибанова [1], является опорным звеном и количественной базой всей системы управления персоналом. Для расчета численности применяются следующие виды норм: нормы времени, нормы выработки, нормы обслуживания и нормы численности. Норма численности – это численность работников определенного профессионально-квалификационного состава, необходимая для выполнения конкретного объема работ или обслуживания тех или иных объектов (крупных агрегатов, рабочих мест и т.п.) [2].

При определении количественной потребности в персонале используются такие понятия, как явочный и списочный состав (явочная и списочная численность) персонала. В явочный состав включаются все работники, явившиеся на работу, а в списочный состав – помимо явившихся на работу включаются еще не вышедшие на работу по болезни, находящиеся в различного рода отпусках, занятые выполнением государственных обязанностей и т.п. Как правило, списочная численность превышает явочную на 5 – 10 % [3]. Величина этого превышения устанавливается, исходя из имеющихся статистических данных предприятия, и зависит, прежде всего, от демографического состава персонала и условий труда. Если в составе персонала преобладают женщины и люди пожилого возраста, а условия труда не являются благоприятными, то разрыв между явочным и списочным составом будет большим, чем на аналогичных предприятиях с иным демографическим составом.

Потребность в персонале выступает в формах брутто – и нетто – потребности. Брутто-потребность в работниках одной профессиональной и квалификационной категории – это их количество, одновременно привлекаемое к производственной деятельности. Нетто-потребность рассчитывается как разность брутто-потребности и наличия на предприятии работников данной категории.

Одним из базовых кадровых показателей является брутто-потребность, определяемая при помощи штатных расписаний по следующей формуле [4]:

$$\text{БПП} = (m_i \cdot t_i) / (\text{ТРВ} \cdot 60) \text{КНВ}, \quad (1)$$

где БПП – брутто-потребность в персонале;

m_i – количество рабочих процессов в плановом периоде;

t_i – среднее время выполнения каждого рабочего процесса в минутах;

ТРВ – тарифное рабочее время планового периода в часах (иногда – с учетом сверхурочных),

КНВ – коэффициент нехватки времени для учета перерывов, отпусков, болезни.

При этом авторы не указывают количественное значение коэффициента КНВ.

Лучанинов С. [5] предлагает при планировании численности использовать плановый коэффициент невыходов (отпуска, временная нетрудоспособность и т.д.) K_n , определяемый по формуле:

$$K_n = 1 + (\% \text{ невыходов}) / 100, \quad (2)$$

При этом за основу берется анализ невыходов в предыдущий период. Аналогично с учетом невыходов в предыдущем периоде Одегов Ю.Г. [6] предлагает рассчитывать коэффициент невыходов на работу как отношение числа отработанных дней к числу дней, которые должны были быть отработаны.

Таким образом, учитывая значимость определения необходимой численности в будущем периоде и отсутствие конкретных количественных показателей, позволяющих эту численность рассчитать, вопросы методики расчета отдельных показателей при определении численности являются актуальными.

В своей работе мы не ставим задачу количественного определения времени отсутствия работника на рабочем месте по всем возможным причинам, но некоторые причины поддаются количественному учету. Одной из уважительных причин невыполнения работником своих трудовых обязанностей является его обучение. В настоящее время проблемы обучения достаточно широко освещены в литературе. Однако, как правило, большинство исследований в области методологии обучения персонала направлено на разработку организационных форм обучения, технологии организации и выбор методов подготовки кадров. При этом недостаточно исследованы вопросы теоретических основ и единого методологического подхода к определению потребности в обучении и расчетам необходимого времени отсутствия работника в связи с организованным для него обучением. Так, например, Магура М.И и Курбатова М.Б. [7] указывают, что для организаций не редка ситуация, когда определению потребностей в обучении не уделяется достаточно внимания, а происходит это в связи с отсутствием методов и процедур для выполнения такой работы, а также документов и положений, регламен-

тирующих порядок или технологию выявления данной потребности. В современных условиях постоянного снижения затрат на все виды ресурсов поиск способов экономии затрат на персонал является стратегически важным направлением службы персонала, а решение указанных проблем приобретает особое значение.

Для определения потребности в обучении целесообразно разделить все проводимое в организациях обучение на два основных вида: обязательное (регламентированное требованиями надзорных органов, федеральных законов, иными правовыми актами РФ) и дополнительное/развивающее (направлено на развитие профессиональных, деловых и личностных качеств сотрудников, различные повышения квалификации). Если необходимость проведения последнего вида обучения определяет работодатель (ТК РФ, статья 196, часть 1 [8]), то необходимость обязательного обучения определена законодательством. На основе имеющихся требований должностей по проведению обучения можно определить потребность в обучении по предприятию в целом и, как следствие, рассчитать необходимый для этого резерв численности. На предприятиях с действующей системой подготовки кадрового резерва, кроме расчета запаса необходимой численности по основным работникам, можно, используя требования будущей должности, рассчитать необходимый запас численности для проведения обучения резервистов.

Нами предлагается следующая методика расчета резерва численности для организации обязательного обучения.

1. Определение годового фонда времени обучения одного работника всем требованиям должности производится на основании сопоставления имеющихся требований конкретной должности, продолжительности обучения каждому требованию и периодичности обучения соответствующему требованию по следующей формуле:

$$t = \sum_{k=1}^n \left(\frac{t_{\text{од}}}{p_{\text{од}}} \right)_k, \quad (3)$$

где $t_{\text{тр}}$ – время обучения одному требованию, ч;

$p_{\text{тр}}$ – периодичность обучения соответствующему требованию, лет;

k – количество требований у определенной должности.

2. Годовой фонд времени обучения всех работников предприятия, у которых существуют требования должности, подведомственные надзорным органам, рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{г.ф.}} = \sum_{i=1}^m t_i, \quad (4)$$

где t – годовой фонд времени обучения одного работника, ч;

m – количество должностей, имеющих требования должности, подведомственные надзорным органам.

3. Резерв численности на предприятии, необходимый для организации полноценного обучения по требованиям законодательства определяется исходя из годового фонда времени обучения всех работников и годового фонда рабочего времени по следующей формуле:

$$\times = \frac{t_{\text{норм}}}{t_{\text{общ}}}, \quad (5)$$

где $t_{\text{общ}}$ – годовой фонд времени обучения всех работников предприятия, ч;
 $t_{\text{норм}}$ – годовой фонд рабочего времени, ч.

4. Для организации работы непрерывных производств, являющихся опасными производственными объектами, недостаточно просто обучить работников, фактически занимающих должности, у которых есть требования подведомственных органов. Системным решением является обучение как минимум одного резервиста каждой из рассматриваемых должностей, который будет исполнять обязанности на период отсутствия основного работника (отпуск, болезнь, командировка). Таким образом, резерв численности предприятия для проведения обязательного обучения с учетом подготовки кадрового резерва будет определяться по формуле:

$$Ч_{\text{рез}} = 2 \times Ч, \quad (6)$$

где $Ч$ – резерв численности, необходимый для проведения обучения работников занимающих должности, у которых есть требования по обучению, регламентированные законодательством, чел.

Расчет резерва численности для организации обязательного обучения наряду с расчетом резерва численности на ежегодные отпуска позволит в значительной мере снизить степень неопределенности при планировании численности персонала, что позволит сбалансировать затраты на персонал организации в целом.

Библиографический список

1. Кибанов А.Я. Управление персоналом организации: Учебник / Под ред. А.Я. Кибанова – М.: ИНФРА-М, 1997 – 512 с.
2. Экономика труда. 2-е изд. / Под ред. Н.А. Горелова. – СПб.: Питер, 2007. – 704 с.: ил.(Серия «Учебник для вузов»).
3. Понятие потребности в персонале (по материалам портала «Управление») / <http://www.manageportal.ru/?p=367>
4. Кадровое планирование в органах государственной власти и местного самоуправления (по материалам портала «Управление персоналом в органах государственной власти и местного самоуправления») / <http://www.midural.ru/midural-new/training/textbook/Pages/2.2.htm>.
5. Лучанинов С. Расчет численности персонала на основе норм по труду (по материалам сайта «HR-портал») / www.HR-Portal.ru/node/1134.
6. Одегов Ю.Г. Управление персоналом в структурно-логических схемах: учебник для вузов / Ю.Г. Одегов. – М.: Академический проект, 2005. –

1088 с

7. Магура М.И., Курбатова М.Б. Организация обучения персонала компании. – М.: ЗАО «Бизнес-школа «Интел-Синтез», 2002. – 192 с.
8. Трудовой кодекс Российской Федерации в редакции Федерального закона от 30.06.2006 № 90-ФЗ.

УДК 658.3

ПРОЕКТ СОДЕЙСТВИЯ ЗАНЯТОСТИ «ПЕРВОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО»: ИДЕОЛОГИЯ И МЕТОДИКА

Фокин К.Б., Королева Ю.В., Новиков А.С., Рахмангулов Р.А.

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

За многолетнюю историю ОАО «ЗСМК» сложилось немало традиций, многие из которых стали неотъемлемой частью его облика и обеспечивают не только положительный имидж, но и жизнеспособность металлургического гиганта. Социальное партнерство с базовыми образовательными заведениями (БОУ) – одна таких традиций, подарившая комбинату династии металлургов, готовых работать с дедами и отцами, составив надежную смену. Однако время вносит свои коррективы. Ситуация на мировых рынках привела к снижению спроса на металлопродукцию. В связи с чем были сокращены вакантные рабочие места, произведена оптимизация численности персонала, что позволило уменьшить потери предприятия на период простоя. Однако инерционность динамики спроса, не позволит обеспечить выпускников БОУ рабочими местами, и их трудоустройство на ЗСМК становится трудновыполнимой задачей. В случае нарушения обязательств перед базовыми образовательными учреждениями по трудоустройству выпускников будет не только потеряна многолетняя работа по профессиональной ориентации (ежегодные конкурсы сочинений, учебных стендов, профессионального мастерства и т.п.), но и нанесен удар по имиджу комбината, который долгое время позиционировал себя как гарант социальной защищенности.

Решением проблемы выполнения социальных обязательств перед БОУ являются реализованные на ЗСМК программы содействия занятости, осуществляемые совместно с Государственным учреждением «Центр занятости населения города Новокузнецка» (ЦЗН), которые позволяют за счет бюджетных средств предоставлять временные рабочие места выпускникам БОУ. На законодательном уровне данная деятельность регламентирована Федеральным законом о занятости населения в РФ (статья 7.1) [1], в котором указано, что «к полномочиям Российской Федерации в области содействия занятости населения, переданным для осуществления органам государственной власти субъектов Российской Федерации, относятся *организация временного трудоустройства* несовершеннолетних граждан в возрасте от 14 до 18 лет в сво-

бодное от учебы время, безработных граждан, испытывающих трудности в поиске работы, *безработных граждан в возрасте от 18 до 20 лет из числа выпускников образовательных учреждений начального и среднего профессионального образования, ищущих работу впервые.*

Целью проекта содействия занятости «Первое рабочее место» явилось снижение социальной напряженности посредством трудоустройства выпускников образовательных учреждений в сложной социально-экономической ситуации для приобретения опыта работы. Выделяются следующие основные задачи проекта:

– организация временного трудоустройства безработных граждан в возрасте от 18 до 20 лет из числа выпускников образовательных учреждений среднего профессионального образования и начального профессионального образования, ищущих работу впервые;

– организация стажировки в целях приобретения опыта работы безработных граждан и граждан, ищущих работу, из числа выпускников образовательных учреждений профессионального образования всех уровней.

Финансирование программы осуществляется солидарно из трех источников: Федеральный бюджет, бюджет службы содействия занятости населения и бюджет ОАО «ЗСМК».

Основной программой проекта явилась организация стажировки в целях приобретения опыта работы безработных граждан и граждан, ищущих работу, из числа выпускников образовательных учреждений профессионального образования всех уровней. Условия участия в Программе «Стажировка»: возраст не имеет значения; наличие статуса выпускника учреждения любого уровня профессионального образования; обязательная регистрация в службе занятости в качестве безработного или ищущего работу. Схема взаимодействия представлена на рисунке 1, бизнес-процесс реализации программы – на рисунке 2.

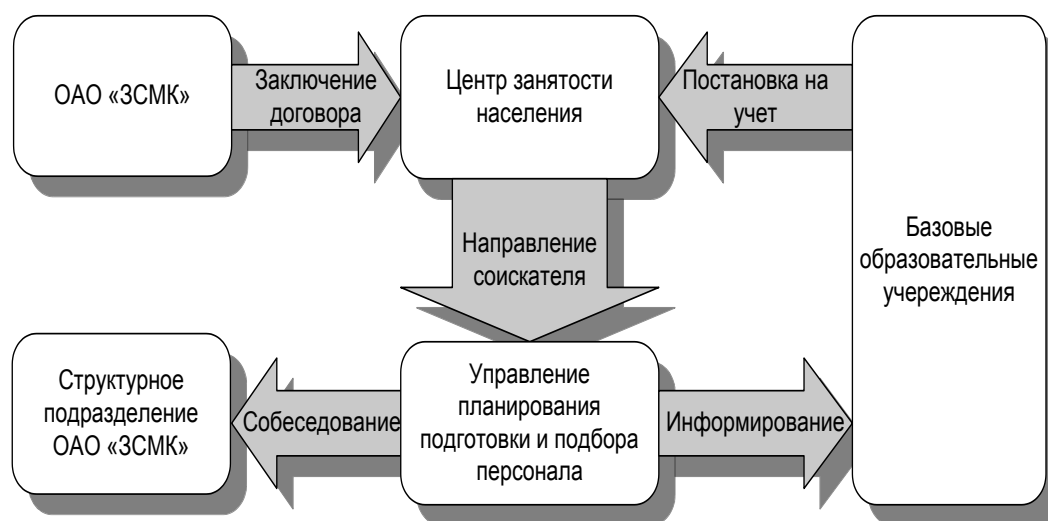


Рисунок 1 – Схема взаимодействия при реализации программы «Стажировка»



Рисунок 2 – Бизнес-процесс реализации программы «Стажировка»

Началом программы является заключение договора о совместной деятельности по организации временного трудоустройства безработных граждан в возрасте от 18 до 20 лет из числа выпускников образовательных учреждений начального и среднего профессионального образования, ищущих работу впервые, состоящих на регистрационном учете в службе занятости между ОАО «ЗСМК» и ЦЗН.

После заключения договора Управление планирования подбора и подготовки персонала (УПППП) информирует БОУ о действии проекта, которые в свою очередь предоставляют рейтинговые списки [2] выпускников. Отобранные выпускники получают путевой лист и направляются в ЦЗН, где проходят регистрацию и получают направление соискателя. Затем выпускники возвращаются на комбинат, УПППП направляет их в структурные подразделения для трудоустройства. Трудоустройство направленных из ЦЗН на временные работы осуществляется на временные рабочие места путем заключения с ними срочных трудовых договоров на период их участия во временных работах в соответствии с Трудовым Кодексом Российской Федерации [3].

В рамках реализации программы ЗСМК представляет в ЦЗН в трехдневный срок с момента подписания копии следующих документов:

- срочных трудовых договоров, заключенных с гражданами на время их участия во временных работах;
- приказов о приеме на работу граждан, направленных на временные работы;
- приказов о досрочном увольнении граждан, направленных на временные работы, с указанием причин увольнения;
- приказов об увольнении граждан, направленных на временные рабо-

ты, в связи с прекращением срока действия срочного трудового договора.

Кроме того, комбинат обеспечивает выпускникам, занятым на временных работах, условия труда, соответствующие правилам и нормам по охране труда, а также соблюдение государственных гарантий в соответствии с законодательством о труде; проводит инструктаж по технике безопасности, а также ведет учет отработанного рабочего времени и объемов работ, выполненных участниками временных работ. Выплата начисленной заработной платы производится не позднее одного дня с момента поступления от ЦЗН средств на оплату труда участников временных работ. После выплаты заработной платы в трехдневный срок в ЦЗН предоставляется заверенная копия платежной ведомости или копия платежных поручений о перечислении заработной платы на лицевые счета участников временных работ, открытые в коммерческих банках с приложением соответствующего реестра, а также заверенные копии платежных поручений на уплату страховых взносов, начисленных на фонд оплаты труда.

Доход участника программы составляет 7197 рублей, где 4897 – минимальная оплата труда (за вычетом 13 %) и 2200 рублей – материальная поддержка со стороны предприятия.

Для обеспечения своевременной отчетности служба персонала ежемесячно, начиная с 25-го числа отчетного месяца, представляет в ЦЗН:

– документ об отсутствии у «Работодателя» просроченной задолженности по перечислению налогов в федеральный, региональный и местный бюджеты (в случае отсутствия счета, открытого для поступления бюджетных средств);

– заверенную копию табеля учета рабочего времени граждан;

– заверенную копию расчетной ведомости;

– расшифровку страховых взносов, начисленных на фонд оплаты труда;

– акт о произведенных расходах за отчетный период.

К достоинствам программы «Стажировка» проекта «Первое рабочее место» стоит отнести:

– возможность минимизировать затраты на рабочую силу;

– выполнение обязательств в области социального партнерства.

– возможность оценить эффективность дальнейшего сотрудничества с участником проекта в качестве работника комбината.

– сохранение имиджа предприятия как гаранта социальной защищенности.

Изложенные в проекте программы содействия занятости населения, представляют собой совокупность необходимых операций, предоставляющих возможность трудоустройства выпускников базовых образовательных учреждений. Это позволит сэкономить фонд оплаты труда и предоставить рабочие места выпускникам, выполнить обязательства перед образовательными учреждениями в период сниженных объемов производства.

Библиографический список

1. Федеральный закон о занятости населения в Российской Федерации (Федеральный закон от 31.12.2005 № 199-ФЗ (ред. 29.12.2006)).
2. Левкина О.М. Система подбора персонала ОАО «ЗСМК» из числа выпускников учебных заведений [Текст] / О.М. Левкина, Е.В.Петров, В.П. Перекопский // *Металлургия: технологии, реинжиниринг, управление, автоматизация: Труды Всероссийской научно-практической конференции / Сибирский государственный индустриальный университет; под ред. С.М. Кулакова. – Новокузнецк, 2004. – 307 с.*
3. Трудовой кодекс Российской Федерации в редакции Федерального закона от 30.06.2006 № 90-ФЗ.

УДК 658.3

ТЕХНОЛОГИИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММ СТАБИЛИЗАЦИИ РЫНКА ТРУДА В УСЛОВИЯХ КРИЗИСНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЭКОНОМИКЕ НА ПРИМЕРЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Фокин К.Б., Чирькин А.С., Бондаренко Н.Е., Колобова О.Л.

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

Кризисные явления в экономике 2008 г. оказали значительное влияние на рынок труда г. Новокузнецка, выраженное в увеличении высвобождения работников с нерентабельных и обанкротившихся предприятий, что привело к разбалансированности спроса и предложения рабочей силы, росту масштабов высвобождения и увеличению числа обратившихся граждан в городскую службу труда и занятости (ЦЗН). При сохранении тенденции снижения объема городского банка вакансий отмечается рост зарегистрированной безработицы. Задача снижения и локализации негативных последствий системного кризиса в экономике и социально-трудовой сфере и в том числе временной безработицы может решаться с помощью интеграции на рынке труда отраслевых и общегосударственных программ. Глобальный финансовый кризис оказал серьезное влияние на экономику металлургической отрасли. Падение спроса на металл на сырьевых рынках поставило вопрос о снижении объемов производства и как следствие – снижение численности персонала работающих на крупных промышленных предприятиях и в ОАО «ЗСМК» в частности. На данном предприятии произошло изменение организационных и технологических условий труда: снижены объемы производства, часть оборудования (агрегатов) технологических цехов остановлена либо переведена на «тихий ход».

Обеспечение устойчивого функционирования крупных предприятий

города в условиях кризиса невозможно без государственной поддержки, которая позволит стабилизировать занятость персонала, расширить возможности трудоустройства, обеспечить социальную защиту при безработице, смягчить экономическую и социально-политическую ситуацию в городе. Для снижения напряженности на рынке труда, в целях обеспечения занятости безработных граждан, высвобождаемых работников и работников, находящихся под риском увольнения, в Кемеровской области разработана и утверждена адресная целевая программа «Дополнительные мероприятия по содействию занятости населения, направленные на снижение напряженности на рынке труда Кемеровской области, на 2009 год» [1]. Программа направлена на достижение следующих целей:

- создание необходимых условий для снижения напряженности на рынке труда;
- поддержания уровня занятости граждан в условиях финансового кризиса;
- предоставление государственных гарантий работникам, находящимся под риском массового увольнения;
- реализация мер по содействию занятости и обеспечению защиты от безработицы высвобождаемых работников и работников, находящихся под риском увольнения.

Одним из мероприятий программы является «Опережающее профессиональное обучение работников в случае угрозы массового увольнения (установление неполного рабочего времени, временная приостановка работ, предоставление отпусков без сохранения заработной платы, мероприятия по высвобождению работников)». Опережающее профессиональное обучение высвобождаемых работников и работников, находящихся под риском увольнения (ОО) [2] – это профессиональная подготовка, переподготовка, повышение квалификации работников, подлежащих высвобождению с предприятий и организаций, работающих в режиме неполного рабочего времени, находящихся в отпусках без сохранения заработной платы в связи с временной приостановкой работ при сокращении объемов (приостановке) производства, осуществляемое до наступления срока расторжения трудового договора между работником и работодателем, на базе образовательных учреждений (предприятий, организаций), имеющих соответствующие лицензии на право осуществления образовательной деятельности. Целями ОО являются содействие занятости, обеспечение защиты от безработицы высвобождаемых работников и работников, находящихся под риском увольнения, а также смягчение социальной напряженности на рынке труда, снижение уровня и продолжительности безработицы. Задачи ОО – повышение конкурентоспособности работников, подлежащих высвобождению и находящихся под риском увольнения; предоставление образовательных услуг высвобождаемым работникам и работникам, находящимся под риском увольнения, до момента расторжения с ними трудового договора; предоставление рабочих мест гражданам, завершившим опережающее обучение.

Опережающее обучение организуется для сохранения рабочей силы на

предприятиях, предполагающих высвобождение работников, посредством перевода граждан после получения новой профессии (специальности) с одного рабочего места на другое, более востребованное. Рабочее место будет предоставлено как на предприятии, осуществляющем высвобождение, так и на другом предприятии, нуждающемся в квалифицированных рабочих кадрах. Использование учебных программ интенсивного и практикоориентированного характера позволяет повысить профессиональную мобильность работников. Средняя продолжительность обучения зависит от требований работодателя и уровня образовательной программы и составляет 3 месяца (в отдельных случаях возможно увеличение до 12 месяцев). Опережающее обучение организуется наряду с учебными центрами предприятий и организаций на базе учреждений начального, среднего и высшего профессионального образования. Квалифицированный состав преподавателей обеспечивает высокий уровень и максимальную эффективность образовательных услуг по востребованным на рынке труда профессиям (специальностям) при предоставлении их гражданам, находящимся под риском увольнения.

Необходимо отметить, что в данной работе процесс организации ОО рассматривается только в части взаимоотношений работодателя и ЦЗН, а также внутриорганизационной регламентации процесса. Авторы не ставили задачу детализации взаимоотношений «ЦЗН – учебное заведение», так как для учебного заведения меняется только источник финансирования. При этом непосредственно в действующий учебный процесс по утвержденным программам корректировки не вносятся.

На федеральном и региональном уровне мероприятия по содействию занятости регламентированы достаточно укрупнено в документах [1 – 5]. Частично процесс организации ОО детализирован в документе [6]. При этом детальная конкретизация процесса ОО, необходимая для организации данного вида обучения в условиях конкретного предприятия, не приводится. Это обуславливает необходимость разработки службой персонала внутриорганизационных регламентов и процедур, обеспечивающих в полном объеме соблюдение требований, установленных в нормативных документах, с учетом особенностей конкретного предприятия. Кроме того, пошаговое описание процесса способствует его постоянному улучшению и обеспечивает прозрачность для всех участников.

На основании вышеизложенного на ЗСМК разработан регламент организации ОО (общая схема на рисунке 1). Основанием для начала работы по организации ОО является заявление работодателя директору ЦЗН с приложением установленных документов. По результатам рассмотрения документов ЦЗН совместно с работодателем принимают решение о заключении договора на организацию опережающего обучения граждан.

Процедура и условия организации учебного процесса, оплаты стоимости услуг по ОО, трудоустройства граждан после успешного завершения ОО регулируются договорами и государственными контрактами.

В случае направления работника на ОО с последующим трудоустройством на предприятие, в котором он на момент направления на обучение работает, заключается 4-х сторонний договор между работодателем, ЦЗН, образовательным учреждением и гражданином, направленным на ОО.

В процессе работы по организации опережающего обучения работодатель обязан представлять в ЦЗН следующие документы:

– до момента заключения договора копии приказа о высвобождении, об установлении неполного рабочего времени, о временной приостановке работ, о предоставлении отпусков без сохранения заработной платы; список граждан, нуждающихся в опережающем обучении, с указанием рабочих мест, предлагаемых работодателем для трудоустройства граждан после прохождения опережающего обучения; документов, гарантирующих предоставление рабочих мест гражданам в случае перевода их для трудоустройства по вновь полученной профессии на другие предприятия и организации; информацию по участию в финансировании затрат на ОО (полное, частичное, доленое);

– после заключения договора копию приказов об увольнении и приеме на новое место работы или копию приказа о переводе на другую работу; копию приказа об увольнении переводом; копию документа о допуске к самостоятельной работе, в случае организации ОО после перевода работника на другую работу внутри предприятия (организации), на имеющиеся вакансии; копию дополнений к трудовому договору о допуске к работе или расширении перечня видов работ в связи с повышением квалификации (разряда) или освоением второй (смежной) профессии (специальности).

В случае досрочного прекращения обучения (до момента его завершения) без уважительных причин или отказа от трудоустройства по вновь полученной профессии (специальности) на предлагаемое работодателем и предусмотренное договором рабочее место гражданин, направленный на ОО, возмещает ЦЗН затраты на организацию данного обучения.

Библиографический список

1. Адресная целевая программа «Дополнительные мероприятия по содействию занятости населения, направленные на снижение напряженности на рынке труда Кемеровской области, на 2009 год», утверждена постановлением Коллегии Администрации Кемеровской области от 12.02.2009 № 53.
2. Порядок организации работы по опережающему профессиональному обучению высвобождаемых работников и работников, находящихся под риском увольнения с предприятий и организаций Кемеровской области Утвержден постановлением коллегии Администрации Кемеровской области от 6.03.2009 № 85.
3. Закон Российской Федерации от 19.04.91 № 1032-1 «О занятости населения в Российской Федерации».
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 05.02.93 №99 «Об организации работы по содействию занятости в условиях массового высвобождения».

5. Постановление Правительства РФ от 31.12.2008 № 1089 «О предоставлении субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации на реализацию дополнительных мероприятий, направленных на снижение напряженности на рынке труда субъектов Российской Федерации».
6. Методические рекомендации «По организации опережающего профессионального обучения высвобождаемых работников и работников, находящихся под риском увольнения с предприятий и организаций Кемеровской области», утверждены начальником департамента труда и занятости населения Кемеровской области 12.02.2009.

УДК 681.5.03

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ЧИСЛА ИНТЕРВАЛОВ ГИСТОГРАММ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

Пожидаев Ю.В., Ознобихина Н.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Одним из методов идентификации закона статистического распределения случайных величин, может служить метод построения гистограмм. Этот метод, хотя и менее строгий, но более наглядный способ оценки характера статистических распределений.

Для построения гистограмм весьма важным является вопрос выбора ширины или количества принятых интервалов. С одной стороны оно должно быть достаточно большим, чтобы надежно описать плотность распределения случайной величины, с другой стороны, относительно небольшим, чтобы уменьшить объем необходимых вычислительных работ, но при этом избежать потери информативности укрупненных гистограмм. Так, при большом числе интервалов, гистограмма может оказаться сильно неравномерной. Причиной выбросов и провалов в гистограмме могут быть случайные помехи и тогда судить о форме статистического распределения сложно. Однако, если уменьшать число интервалов, то теряется информация о форме изменения искомой плотности вероятностей, так как сглаживаются его особенности. Так, по гистограмме из трех столбиков любое колоколообразное или трапецеидальное распределение можно оценить как треугольное. При одном интервале при любой форме исходной плотности вероятности распределение можно считать равномерным. Очевидно, для каждого вида закона распределения существует оптимальное число интервалов, при котором гистограмма будет в наибольшей мере соответствовать изменению плотности вероятности.

В литературных источниках предлагаются различные способы оценки числа интервалов при описании гистограмм.

Оптимальное число интервалов в первую очередь, зависит от числа наблюдений. Так, при числе измеренных значений N порядка 150 выбирают количество интервалов $m = \sqrt{n}$. В иных случаях принимают $m = 5 \lg n$ [2]. Известна также формула Старджеса $m = 3,31 \lg n + 1$.

В ряде случаев зависимость числа интервалов от объема выборки ограничивается общими указаниями, либо в табличной форме. В представленной ниже таблице 1 приведены рекомендации по данным [1, 2].

В работе [5] количество интервалов принимают исходя из ширины интервала, равной $0,5 \cdot S$ (здесь S – среднеквадратичное отклонение).

Кроме того, число интервалов должно зависеть от эксцесса. Исследования показали, что для большинства встречающихся на практике законов распределения, включая трапецеидальный Гаусса, Лапласа, оптимальное число интервалов можно оценить выражением [5]:

$$m = 4\sqrt{E + 3} \lg n / 10.$$

Таблица 1 – Рекомендуемое число интервалов гистограмм в зависимости от числа наблюдений.

Число наблюдений [1]	Рекомендуемое число интервалов [1]	Число наблюдений [2]	Рекомендуемое число интервалов [2]
40 – 100	7 – 9	Менее 50	5 – 7
100 – 500	8 – 12	50 – 100	6 – 10
500 – 1000	10 – 16	100 – 250	7 – 12
1000 – 10000	12 – 22	свыше 260	10 – 20

Если эксцесс закона распределения E неизвестен, но находится в интервале 1 – 3, то оптимальное число m находится в пределах:

$$5,4 \cdot \ln \cdot n / 10 \leq m \leq 9,8 \cdot \ln \cdot n / 10.$$

Несмотря на большое разнообразие оценок числа интервалов гистограммы в большинстве случаев, как показывает практика, выбирают число интервалов от 6 до 25 [6, 7].

В данной работе изучалось влияние принятого числа интервалов на информативность гистограмм. На основе результатов количественного химического анализа.

В качестве примера приводим анализ выборки, включающей 100 результатов наблюдений с размахом от $x_{\min} = 47,0$ до $x_{\max} = 63,0$.

Рассматривали три варианта числа интервалов 15, 10 и 5. С изменением числа интервалов ширина интервала увеличивается, изменяются и частоты попадания результатов наблюдений в эти интервалы.

Соответствующие гистограммы распределений приведены на рисунках 1, 2 и 3.

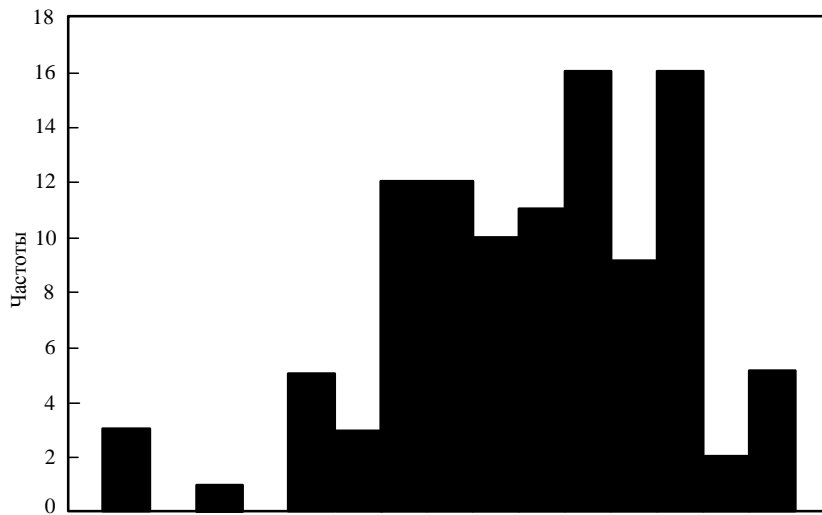


Рисунок 1 – Гистограмма распределения при числе интервалов 15

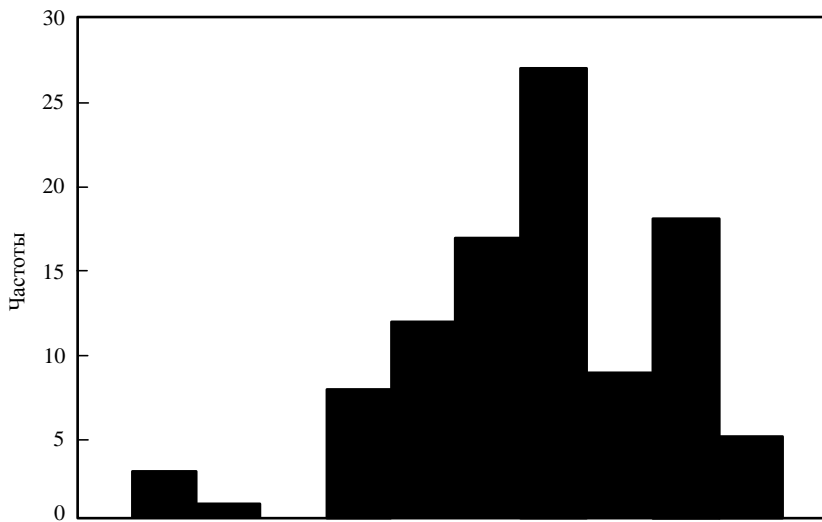


Рисунок 2 – Гистограмма распределения при числе интервалов 10

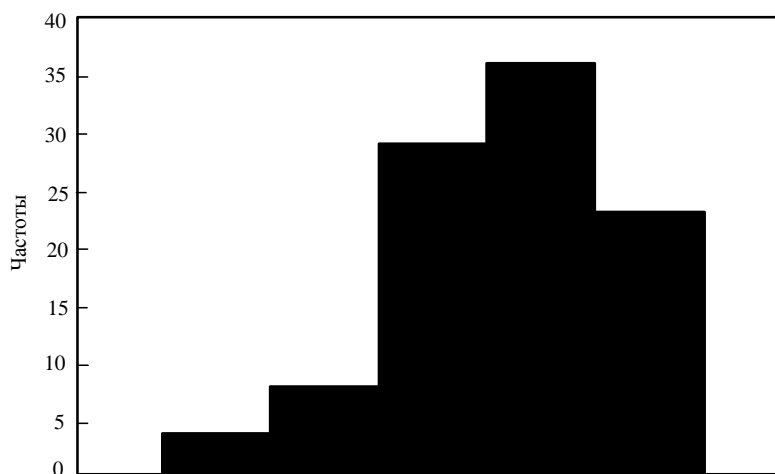


Рисунок 3 – Гистограмма распределения при числе интервалов 5

Как видно из приведенных рисунков, гистограмма даже при числе интервалов 15 оказалась сильно изрезанной и по ее виду трудно что-либо сказать о закономерности распределения. При уменьшении числа интервалов до 10 неравномерность гистограммы хотя и уменьшилась, но общий ее характер остался практически такой же. Лишь при уменьшении числа интервалов до 5 внешний вид гистограммы приближенно может характеризовать нормальное распределение, хотя и несколько скошенное. Действительно, рассчитанное значение критерия G по формуле $G = \Delta x / ((x_i \ln) \max \sqrt{2\pi})$ для числа интервалов $m = 10$ оказалось равным 1,01, а для $m = 5$ $G = 3,55$, что довольно близко к значению стандартного отклонения для рассматриваемого распределения $S = 4,0$.

Во втором случае рассматривали выборку в пределах $x_{\min} = 1,71$ до $x_{\max} = 2,68$. Гистограммы распределений этих результатов при числе интервалов 15, 10 и 5 приведены на рисунках 4, 5 и 6.

По характеру гистограмм распределения в этом случае можно заключить, что наиболее приближена к нормальному распределению гистограмм при числе интервалов 10 по сравнению с другими. При числе интервалов 15 гистограмма излишне детализирована, а при 5 – сильно скошена влево.

Выводы. Анализ приведенных и других рассмотренных случаев распределений результатов многократных наблюдений позволяет сделать вывод, что оптимальное число интервалов при идентификации закона распределения с помощью гистограмм может быть принято от 5 до 10 при числе наблюдений 100 и менее. Этот вывод хорошо согласуется с изменением числа интервалов: ширина интервала увеличивается, изменяются и частоты попадания результатов наблюдений в эти интервалы.

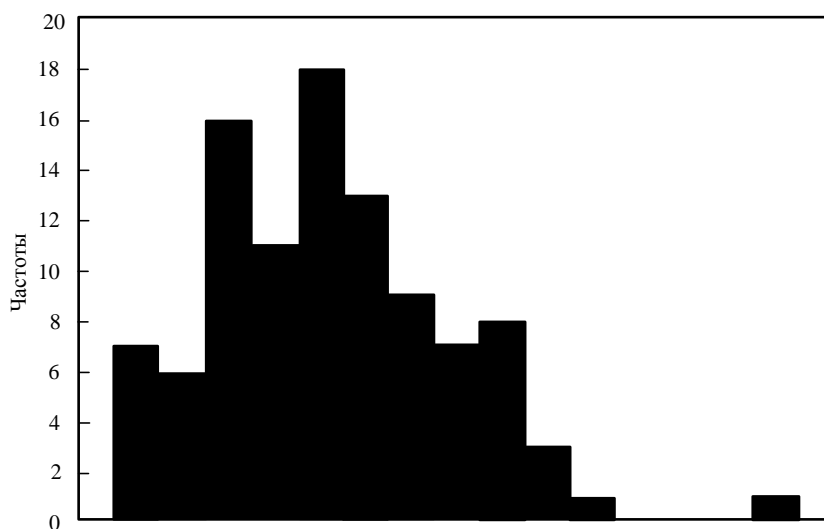


Рисунок 4 – Гистограмма распределения при числе интервалов 15

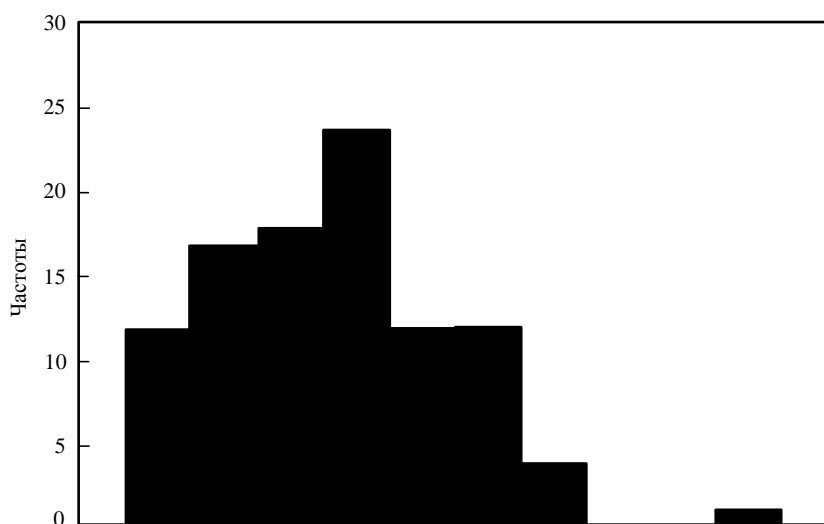


Рисунок 5 – Гистограмма распределения при числе интервалов 10

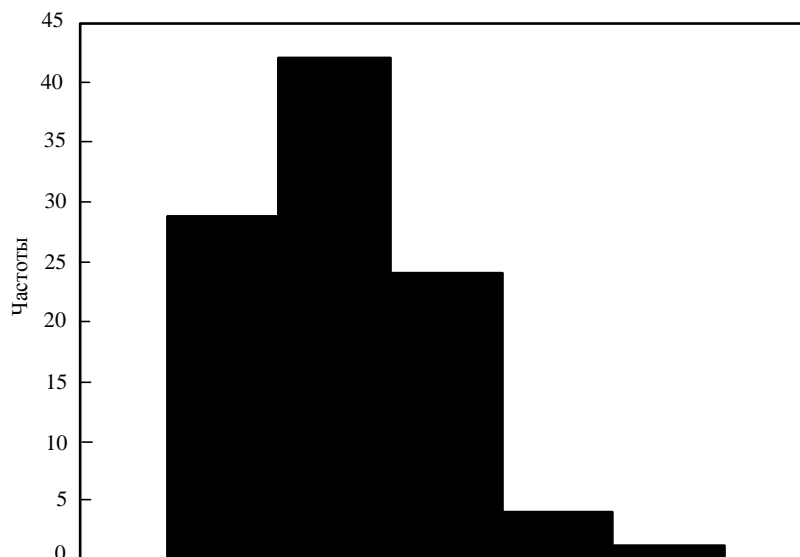


Рисунок 6 – Гистограмма распределения при числе интервалов 5

При необходимости более точного суждения о закономерности распределения ограничиваться выбором одного числа интервалов не следует, при этом использовать и критериальные оценки степени приближения реальных распределений к закономерным.

Библиографический список

1. Шишкин И.Ф. Метрология, стандартизация и управление качеством: учебное пособие для вузов / Под ред. акад. Н.С. Соломенко. – М.: Изд-во ст-тов, 1990. – 342 с.
2. Харт Х. Введение в измерительную технику / Пер. с нем. – М.: Мир, 1999. – 391 с.

3. Радкевич Я.М. Метрология, стандартизация и взаимозаменяемость. Книга 1. Метрология / Я.М. Радкевич, Б.И. Лактионов. – М.: Изд-во МГГУ, 1996. – 214 с.
4. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология: учебное пособие / И.Ф. Шишкин. – МЛ.: СЗПИ, 1983. – 84 с.
5. Чарыков А.К. математическая обработка результатов химического анализа: учебное пособие для вузов / А.К. Чарыков – Л.: Химия, 1984. – 168 с.
5. Рейх Н.Н. Метрологическое обеспечение производства: учебное пособие / Под ред. Л.К. Исаева – М.: Изд-во ст-тов, 1987. – 248 с.
7. Гончаров А.А. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие / А.А. Гончаров, В.Д. Копылов. – 2-е изд.- М.: Академия, 2005. – 240 с.
8. Атамаян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин: учеб. пособие / Э.Г. Атамаян. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1989. – 364 с.

УДК 005.41

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА

Пушница Н.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Вашему вниманию предлагается обзор, связанный с выходом в 2008 году новой версии стандартов ISO серии 9000, в основу которых положены японские национальные стандарты JIS ITR Q 0005 «Системы менеджмента качества. Рекомендации по устойчивому росту». Многие специалисты России в области менеджмента качества считают, что организации должны развиваться на основе концепции устойчивого развития, которая ориентирована на обеспечение полноценной жизни человека в гармонии с природой.

Это новая философия развития общества, основанная на интеграции социальных, экологических и экономических задач, в которой последовательность приоритетов должна быть именно такая: человек – планета – экономика.

Такое развитие, возможно, реализовать только через обучение и инновации, т.е. создание системы менеджмента качества.

Исходя из концепции устойчивого развития, СМК должна быть интегрированной системой и соответствовать не только стандартам 180 серии 9000, но и стандартам системы экологического менеджмента ISO 14000 и системы менеджмента профессиональной безопасности и здоровья OHSAS 18001.

Историческая справка о создании концепции устойчивого развития, и ее связь с менеджментом качества такова:

В 1992 году в Рио-де-Жанейро прошла весьма представительная Все-

мирная конференция по управлению окружающей средой и развитию, по результатам которой была принята декларация, содержащая 27 принципов. Первым принципом был следующий: «Человек является центральным звеном при рассмотрении вопросов устойчивого развития, которое ориентировано на охрану здоровья и обеспечение полноценной жизни человека в гармонии с природой».

С этого момента концепция устойчивого развития становится некоторой доминантой менеджмента компаний мирового уровня.

Устойчивое развитие – это новая философия развития общества, основанная на интеграции социальных, экологических и экономических аспектов при принятии решений и в практической деятельности, направленных на обеспечение жизнедеятельности будущих поколений.

Всемирный саммит ООН по устойчивому развитию прошел в Йоханнесбурге в августе 2002 года.

Еще ранее в 1999 году на Всемирном экономическом форуме в Давосе генеральный секретарь ООН Коффи Анан обратился к лидерам бизнеса с посланием, которое было названо Глобальным соглашением, содержащее десять универсальных принципов взаимоотношений человека, общества, природы и бизнеса.

В настоящее время большинство международных компаний, оперирующих в мировом масштабе, объявили о своей приверженности Глобальному соглашению.

Таким образом, целевой блок современной компании, построенной на основе концепции устойчивого развития, призван обеспечить соблюдение баланса интересов бизнеса, людей, общества и, самое главное, будущих поколений.

По существу, будущие поколения становятся важнейшей заинтересованной стороной компании наряду с потребителями, персоналом, обществом, партнерами и т.д.

Естественно, необходимы соответствующие средства для решения этих задач на основе совершенствования внутрифирменных систем менеджмента.

Можно утверждать, что именно философия устойчивого развития была положена в основу методологии известной сегодня в мире модели TQM:

- модели Европейской премии в области качества;
- модели делового совершенства EFQM;
- модели премий Правительства РФ в области качества;
- в моделях национальных премий в области качества – многих развитых стран.

В связи с переработкой стандартов ISO серии 9000 версии 2008 мир был готов к выработке новых рекомендаций по менеджменту качества на базе концепции устойчивого развития и международной стандартизации.

На этот раз все началось в Японии.

В 2000 году после утверждения новой версии стандартов ISO серии

9000 Японский институт стандартов (JSA) провел большое исследование стандартов в области менеджмента качества и целесообразности дальнейшего их улучшения и развития. Результаты исследования, продемонстрировав положительную реакцию успешных компаний Японии, США, Европы, подтолкнули JSA к подготовке и изданию двух стандартов по СМК:

– TR Q 0005 «Системы менеджмента качества. Рекомендации по устойчивому росту»;

– TR Q 0006 «Системы менеджмента качества. Рекомендации по самооценке».

Эти документы разрабатывались под научным руководством известного японского специалиста в области TQM профессора Токийского университета доктора Йосинора Изука – президента Японского общества по управлению качеством (JSQC), руководителя рабочей группы в ИСО/ТК 176, которая разрабатывала концепцию новой версии стандарта ISO 9004:2008.

Разработчики обосновали жизненную необходимость документов реальному бизнесу следующим:

– бизнес сообщества в Японии, США и Европе относились скептически к стандарту ISO 9004:2000 как практическому инструменту совершенствования СМК компании, способного оказывать реальную помощь бизнесу в достижении устойчивого развития;

– бизнес нуждался в концепции, повышающей уровень его конкурентоспособности и утверждающей инновации как необходимое условие совершенствования СМК;

– нужно было дать методическую и технологическую основу устойчивого развития компаний через обучение и инновации.

Японские документы (ТК Q 0005 и 0006) по менеджменту качества в начале 2005 года были утверждены и введены в действие как официальные национальные стандарты Японии (JIS). В 2002 г. проекты этих стандартов были рассмотрены и одобрены на специальном семинаре ИСО/ТК 176 и рекомендованы в качестве возможной основы для стандарта ISO 9004:2008. Активный цикл инноваций в области менеджмента качества на основе концепции устойчивого развития начала Франция.

В июне 2003 года правительство Франции одобрило Национальную стратегию устойчивого развития и на её основе французская организация по стандартизации (AFNOR) опубликовала Руководство SD 21000 «Устойчивое развитие. Социальная ответственность корпораций. Руководство по учету вклада «устойчивого развития».

Несколько нормативных разработок по вопросам устойчивого развития появилось за последние годы в других странах, например, в Великобритании, в Испании, в Германии. В адрес ИСО/ТК 176 некоторые национальные члены комитета направили свои предложения по совершенствованию стандартов ISO серии 9000 версии 2008 года.

Помимо указанных японских стандартов большой интерес у членов комитета ИСО/ТК 176 вызывало предложение французской делегации от

AFNOR.

На основе анализа всех нормативно-методических документов, можно выделить основные компоненты, составляющие предмет новизны стандартов ISO серии 9000:2008 и концепции устойчивого развития:

- определение и операциональное применение во внутрифирменном менеджменте корпоративной политики и стратегии с учетом концепции устойчивого развития;

- при формировании стратегии и стратегических целей необходимо понимание и идентификация потребностей всех заинтересованных сторон (например, не только нынешних собственников компании, но и будущих поколений людей);

- самообучение и инновации как главные технологические инструменты стратегического развития;

- первенство корпоративной стратегии над процессным подходом на уровне производственной структуры.

Ещё раз подчеркну связь этих компонентов с концепцией устойчивого развития (или роста, или успеха, или конкурентоспособности) компании.

Другой заметной их особенностью является возрастание роли стратегического менеджмента в сравнении с текущей деятельностью на основе процессного подхода.

В рассматриваемых документах, которые легли в основу ISO 9004:2000, процессный подход реализуется в основном на самом нижнем уровне СМК, т.е. на уровне производственных и технологических процессов создания, изготовления и поставки продукции.

Основные акценты JIS/TR Q 0005:2005, который лег в основу ISO 9004:2008:

Устойчивое развитие (или рост) компании базируется на определенной стратегии, а также постоянном обучении и инновациях.

Стратегия имеет как минимум три иерархических уровня общекорпоративная стратегия, бизнес-стратегия и стратегия по отдельным видам продукции (услуг). Стратегия основывается на профиле организационных возможностей.

Профиль организационных возможностей – это аналитический документ, отвечающий на вопрос, что представляет собой компания с точки зрения рыночного позиционирования, внутренних ключевых компетентностей, конкурентных преимуществ, возможностей персонала и т.д. Профиль включает анализ выпускаемой продукции, уровня технологий и другие возможности организации.

Трехуровневая модель СМК: постоянное улучшение СМК и инновации СМК (рисунок 1).

Понимание восприятия компании всеми заинтересованными сторонами. Баланс интересов сторон рассматривается как естественный базис общекорпоративной стратегии.

12 принципов СМК. Концепция документа предполагает выработку

стратегии на трех уровнях (корпоративный, отдельный бизнес, отдельный вид продукции), каждый уровень имеет свою особенность. СМК нужна лишь как важный инструмент реализации всех стратегий.

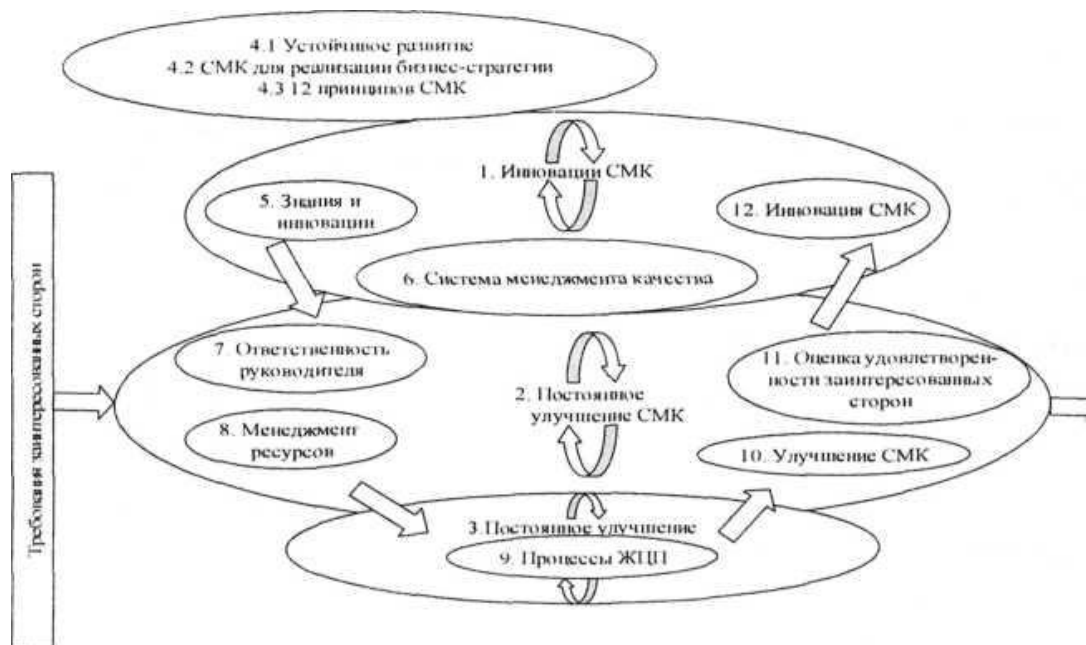


Рисунок 1 – Трехуровневая структура системы менеджмента качества по JIS/TR Q 0005:2005

Различие между инновацией и улучшением в СМК (см. рисунок 1) заключается в следующем: инновация представляет собой реструктуризацию, замену отдельных элементов структуры или всей структуры на новую, в то время как улучшение, как правило, проводится в рамках действующей структуры. Улучшение зачастую связано с процессным подходом и не требует значительных, в том числе денежных ресурсов, в то время как инновации нуждаются в значительных средствах и реализуется на основе проектного подхода.

В ходе разработки новых документов (TRQ 0005 и TRQ 0006) японские эксперты, конечно, не могли пройти мимо знаменитых 8 принципов менеджмента качества, лежащих в основе существующей версии стандартов ISO серии 9000 версии 2000 года. В результате, отражая понимание тенденций современного менеджмента, были сформулированы 12 принципов менеджмента качества, которые представлены в таблице 1.

Таким образом, можно утверждать, что системы менеджмента качества (СМК) организаций, которые будут соответствовать международным стандартам ISO серии 9000:2008 будут вести компании от удовлетворенности потребителей к удовлетворенности всех заинтересованных сторон, от информационных технологий – к управлению знаниями, от постоянного улучшения процессов – к инновациям, прежде всего в сфере менеджмента.

Таблица 1 – Принципы менеджмента качества TRQ 0005 и связь их с принципами TQM ISO 9000:2000

Принципы менеджмента качества TRQ 0005		Принципы менеджмента качества
Принцип	Формулировка	
Создание ценности для потребителя	Организация должна создавать продукцию (услуги), ценность которой признается потребителями	Ориентация на потребителя
Ориентация на общественные ценности	Организация должна нести ответственность перед обществом в части этики бизнеса, безопасности и защиты окружающей среды	
Лидерство в предвидении	Лидер должен определить видение и отчетливую политику, руководить и мотивировать людей, и вести организацию в выбранном направлении	Лидерство
Понимание своих ключевых компетентностей	Организация должна осознавать ключевые компетентности, которыми она обладает или должна обладать, состоящие из технологий, производственных мощностей и организационного климата	
Вовлеченность персонала	Организация должна уметь использовать знания, навыки, творческие и другие способности людей в их деятельности	Вовлеченность персонала
Сотрудничество с партнерами	Организация должна сотрудничать с партнерами с целью создания ценностей и достижения удовлетворенности потребителя	Взаимовыгодные взаимоотношения с поставщиками
Всеобщая оптимизация	Организация должна строить наиболее оптимальные системы, стремясь к совершенству каждого процесса	Системный подход к менеджменту. Постоянное улучшение
Процессный подход	Организация должна определить процессы, необходимые для создания ценностей, оценивать их взаимосвязи, обеспечивать и управлять ими, применяя эти процессы в системе	Процессный подход
Принятие решений, основанных на фактах	Организация должна принимать решения, основанные на фактах	Принятие решений на основе фактов
Личное и организационное самообучение	Организация должна поощрять приобретение персоналом знаний и уметь использовать его знания как принадлежащие всей организации	

Продолжение таблицы 1

Принципы менеджмента качества TRQ 0005		Принципы менеджмента качества
Принцип	Формулировка	
Оперативность	Организация должна оперативно принимать решения и действовать, отвечая на изменения окружающей обстановки	
Автономность	Организация должна принимать решения и действовать в соответствии со своими ценностями	

В заключение обзора современных подходов в области устойчивого развития и интегрированных систем менеджмента хочется отметить, что сегодня каждая компания стоит перед непростым выбором пути дальнейшего развития и совершенствования внутрифирменной системы менеджмента. Различные консультанты и консалтинговые фирмы предлагают огромный спектр апробированных инструментов менеджмента: стандарты ISO серии 9000, 14000, OHSAS 18001, SA 8000, интегрированные системы менеджмента, модели Европейской премии в области качества, модели делового совершенства EFQM, «бережливое» производство плюс «шесть сигм», управление знаниями и проектами, т.д.

Все это, безусловно, весьма полезные подходы, которые могут быть практически применимы организация. Однако нужно выбрать лишь то, что именно предприятию (фирме) крайне необходимо для дальнейшего развития и успеха. Выбор должен быть стратегическим, так как нельзя внедрять все системы и инструменты менеджмента одновременно, поскольку многие из них требуют значительных ресурсов, да к тому же противоречивы. Создание интегрированной (единой) системы менеджмента требует от всего коллектива фирмы, а не только специалистов управления систем менеджмента, некоторой интеллектуальной и творческой работы по изучению новой версии ISO серии 9000:2008, анализа уникальных свойств и особенностей деятельности фирмы в этом и заключается цель предложенного обзора.

УДК 005.32

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА НА ОСНОВЕ ЛИДЕРСТВА

Пушница Н.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Традиционная модель менеджмента XX века и начала XXI, характерная для большинства российских предприятий, может быть представлена

три составляющими: command (приказ), control (контроль), compartmentalization (разделение организации на подразделения). Эта модель обозначается современными учеными в области менеджмента аббревиатурой 3С по первым буквам соответствующих английских слов. Эту модель менеджмента можно обозначить состоянием А.

Для состояния А (3С) менеджмента характерны следующие признаки:

- многоуровневая иерархия;
- координирование сверху;
- доминирование взаимоотношений «руководитель-подчиненный»;
- функциональная организация работы;
- индивидуальная работа в противовес командной.

В соответствии с этой моделью менеджмент, как правило, сводится к управлению персоналом через приказы, распоряжения, систему совещаний.

Стремление всё подчинить строгому надзору за исполнением приказов и распоряжений порождает создание громоздких систем контроля, наказаний, ужесточение дисциплины и т.д.

Эта система менеджмента может работать в стабильной окружающей обстановке. Однако при смене стабильной окружающей деловой среды на ситуацию неопределенности и непрерывных изменений традиционная модель организации, отмеченная выше, становится нежизнеспособной.

Извечный вопрос что делать? В западных странах на смену модели менеджмента 3С (А) пришли модели: 3P – people (персонал), purpose (цели), processes (процессы); 3I – ideas (идеи), information (информация), interaction (взаимодействие); 3L – leadership (лидерство), lean (бережливое производство), learning organization (обучающая организация). Эти модели применяются как отдельно, так и в сочетании: 3P+3I+3L. Отечественным предприятием, по словам президента Всероссийской организации качества Г.П. Воронина, явно не хватает распределенного по организации лидерства: наиболее распространенное положение – один лидер – вождь, первый руководитель предприятия. Лидеры подразделений, если они есть, проявляют свое лидерство не как командное, а сугубо личное, направленное не на общие цели, а на защиту интересов своего подразделения от «посягательств» центральной управляющей структуры.

В прошлом столетии системы управления организацией стимулировали предприятия к расточительству, позволяли завышать бюджеты, содержать чрезвычайно избыточные запасы любых ресурсов.

Если обозначить новую модель системы менеджмента 3P+3I+3L состоянием Б, то можно сказать, что главным для российских предприятий в модели будет 3L. Во многом эта модель соответствует принципам действующих стандартов ISO серий 9000, 14000, OHSAS 18000, проектов ISO серии 9000 версии 2008 года, принципам Э. Деминга.

Состояние Б (3P+3I+3L) представляет собой образ конкурентоспособной организации Западных стран, к которому должно стремиться организации, создавая единую систему менеджмента, основанную на стандартах ISO

9001,14001, OHSAS 18001.

Основные признаки единой системы менеджмента организации (3P+3I+3L):

- лидерство, в том числе распределенное по предприятию, как основа преобразований;
- координирование через цели;
- сетевая организационная структура;
- сочетание видов взаимоотношений внутри компании: «руководитель – подчиненный», «поставщик – потребитель», «заказчик – исполнитель»;
- преимущественно командная форма работы;
- процессный подход;
- «бережливое производство»;
- создание среды и системы активного получения и обмена знаниями и информацией;
- мотивация и вовлечение людей в рабочие процессы на основе уважения к личности, компетентности, признания достижений и результатов;
- корпоративная культура, ориентированная на ценности, стратегию, лидерство;
- ориентация на все заинтересованные стороны.

Участие автора в проектах по разработке, документированию, внедрению и поддержанию в рабочем состоянии системы менеджмента качества ОАО «ЗСМК» показало, что для перехода из состояния А в состояние Б системы менеджмента комбината необходимы масштабные изменения, которые невозможно провести без преобразования основ: принципов системы менеджмента, производственной системы, корпоративной культуры.

По опыту ОАО «ЗСМК» и других предприятий, создавших и просертифицировавших системы менеджмента, такие преобразования занимали около 8 – 10 лет. Однако для подобных преобразований сегодня при создании единой системы менеджмента предприятия сроки более короткие.

Таким образом, необходима методология, позволяющая сократить время преобразований и построить единую систему менеджмента организации, которая отвечала бы требованиям стандартов ISO серии 9000:2008, ISO серии 14000, OHSAS 18000 и представляла бы образ конкурентоспособной организации модели 3P+3I+3L.

Основу предлагаемой методологии составляют следующие положения:

- лидерство как базис преобразований;
- проектный подход к преобразованиям;
- единый подход к проектам (моделям) в рамках политики преобразований;
- последовательно-параллельное выполнение работ;
- быстрая окупаемость вложений через выполнение мини-проектов;
- создание внутреннего механизма постоянных улучшений на комбинате.

При проведении преобразований системы менеджмента задачами ли-

деров является:

- определение образа будущего комбината (видение и миссия);
- выбор направления и целей (Политика в области менеджмента);
- выбор стратегии движения в выбранном направлении, а также создание внутренних условий для её реализации (разработка и внедрение Руководства и СТО ИСМ).

Во главе этой группы должен стоять сильный лидер № 1 (Представитель руководства по ИСМ) формирующий замысел преобразований, на основе которого совместно с командой поддерживающих его лидеров других уровней формируется политика преобразований (Политика ИСМ). Таким образом, задача лидера № 1 – разработка стратегии, организация команды лидеров и направление её усилий, энергии на достижение целей преобразований, выбор консультантов.

И несколько слов о характере руководителя-лидера. Лидер может выступать как образец человека, вовлеченного в создание совершенной организации, изучившего мировой опыт корпоративной культуры и создавшего свою модель.

Лидер это сотрудник, имеющий формальный статус руководителя и обладающий характером ведущего. Умение планировать, ориентируясь, как минимум, в трехмерном пространстве – финансов, людей, времени – является компетенцией менеджера любого уровня.

На практике подтверждается, что ведущему человеку требуется только увидеть то, что нужно сделать, чтобы принять решение, а ведомому требуется ещё и услышать, что нужно делать.

Многие лидеры оценивают только те поступки сотрудников, которые находятся в рамках его личного восприятия. Если поступки сотрудников вынуждают лидера прибегнуть к анализу и пересмотру своих убеждений и своего «Я», то негативная оценка таких поступков со стороны лидера обеспечена. Некоторые лидеры считают своим долгом изменить всё и вся, только не себя. В результате изменяя человека «под себя», лидер достигает только его подчинения.

Если руководители предприятий и структурных подразделений осознали, что нужно учиться управлять изменениями – для улучшения деятельности, рисками – для их минимизации, персоналом – для достижения высокой производительности труда, ресурсами – для их оптимизации, и в целом управлять деятельностью, то нужно, прежде всего, научиться управлять собой.

Самооценка в организации – деятельность пока непривычная и непонятная, и, как правило, по отношению к себе не применимая. Как проводить самооценку необходимо изучить рекомендации ВНИИС, надо её делать регулярно, периодичность – каждый год. И последнее, по выбору консультантов – надо прислушаться к мнению Г.П. Воронина, президента ВОК: «Выбирая консультанта, постарайтесь узнать, имел ли он когда-нибудь дело с организацией производства в вашей или близкой к ней области деятельности и не

назначайте своим заместителем по качеству того, кто не имеет представления о технологии производства на вашем предприятии. Будьте бдительны».

В заключение хочется сказать, что на предприятиях г. Новокузнецка создана большая группа лидеров-руководителей, которые способны в установленные сроки провести улучшение систем менеджмента, производственных систем, организационных структур, а автор готов при необходимости им в этом помочь.

УДК 621.355.8

ПЕРЕРАБОТКА КАДМИЙСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩЕГО РАСТВОРИТЕЛЯ

КАРЕЛОВ С.В., БАРАШЕВ А.Р., АНИСИМОВА О.С., БЕРСТЕНЕВ М.О.

*Уральский государственный технический университет-УПИ
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург*

В настоящее время наблюдается стремительный рост объемов производства Ni-Cd источников питания, которые находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. В свою очередь, с ростом экономики, с каждым годом увеличиваются объемы пылей и других техногенных промпродуктов цветной металлургии, содержащих кадмий. В связи с этим всё острее стоит проблема комплексной переработки отходов содержащих кадмий.

Отработанные щелочные аккумуляторы, основными компонентами которых являются весьма ценные, но токсичные соединения никеля и кадмия, в полной мере относятся к таким видам техногенных отходов.

Рассматриваемая проблема актуальна для многих стран в связи с широким использованием подобных батарей в электронике, электротехнике и транспорте. Общемировые объемы образующегося скрапа оцениваются на уровне нескольких миллионов тонн.

Наибольшее распространение, из пирометаллургических методов, основанных на отгонке газообразных соединений кадмия, получила вакуумная дистилляция.

Кадмийсодержащие отходы просеивают, отделяют от металлической составляющей на магнитном сепараторе, затем смешивают отход с восстановителем и нагревают шихту в электропечи без доступа воздуха.

Кроме чрезвычайной экологической опасности данного производства, дистилляция характеризуется получением оксида кадмия низкого качества и вторичных отходов, использование которых в других отраслях проблематично.

Мировой опыт переработки кадмийсодержащих отходов показал пер-

спективность гидрометаллургических методов, основанных, в большинстве своем, на использовании растворов серной кислоты, аммиака, солевых композиций.

При проведении сернокислотного выщелачивания получают раствор, содержащий, г/дм³: Cd 39, Ni 15, Fe 33, в который вводят (NH₄)₂SO₄ при нагревании, осадок отфильтровывают и сушат. Он содержит, в %: Cd 1,98, Ni 7,03 и Fe 5,02. Для очистки осадка от кадмия и железа его обрабатывают раствором NH₃+(NH₄)₂SO₄. В первый и второй фильтраты вводят (NH₄)₂CO₃ (второе осаждение). При этом выпадают карбонаты Cd и Fe. После перечистки никелевый осадок содержит, %: Ni 15,3, Cd 0,026, Fe 0,06. Кадмиевый осадок содержит, %: Cd 37,5, Ni 1,2, Fe 9,7.

Аммиачное выщелачивание проводят в растворе, содержащем 1 – 3 моль/дм³ ионов аммония в форме нитрата и ацетата, причем 33 – 75 % приходится на долю первого. Выщелачивание проводят при кипячении в течение 8 ч, в растворе, содержащем ионы NH₄⁺ 2 моль/дм³ с переменным соотношением ионов NO₃⁻ и CH₃CO⁻. Из фильтрата избытком (NH₄)₂CO₃ осаждают CdCO₃, содержащий 0,11 – 0,27 % Ni.

Выщелачивание с применением солевых композиций проводят в две стадии. На первой в растворах аммиачных солей (1 – 6 моль/дм³ NH₄⁺) переводят в раствор основную часть кадмия. На второй в минеральных кислотах (1 – 4 моль/дм³), выщелачивают Ni, остаток кадмия и частично железо. Из первого раствора кадмий осаждают в форме CdCO₃. Из второго раствора Cd выделяют на анионообменных смолах, а Ni осаждают также в виде карбоната. В качестве солей аммония могут использоваться: NH₄Cl, NH₄NO₃, NH₄CH₃-COO, (NH₄)₂SO₄, NH₄SCN, (NH₄)₂CO₃. Выход кадмия при первом выщелачивании составляет 90 %. Карбонатный осадок содержит 65 % Cd, 0,17 % Ni и 0,07 % Fe.

Применение гидрометаллургических операций позволит решить как экологические проблемы по утилизации кадмийсодержащих отходов, так и обеспечить потребности промышленности в качественном оксиде кадмия.

Недостатками сернокислотного способа являются низкая степень извлечения кадмия за счет потерь его с железо- и никель-содержащими продуктами, технологические трудности очистки промышленных растворов. Применение аммиака ограничено его летучестью и проблематичностью регенерации.

В УГТУ-УПИ разработана технология переработки кадмийсодержащих отходов с применением комплексобразующего реагента – Трилона Б. Этот растворитель отличается высокой селективностью при выщелачивании кадмия из различных типов отходов: область комплексобразования этилендиаминтетраацетата (Трилона Б) с железом и кадмием находятся в разных значениях pH среды: кадмия в щелочной, а железа – в кислой. Следовательно, при применении щелочного раствора этилендиаминтетраацетата обеспечивается избирательное растворение оксида кадмия. При этом оксиды железа и другие примеси практически в неизменном виде остаются в твердой фа-

зе.

Метод регенерации растворителя основан на том, что в кислой среде при рН раствора 1,0 – 1,6 этилендиаминтетраацетат приобретает молекулярную кислотную форму, практически нерастворимую в воде, что позволяет полностью отделить его от кадмийсодержащего раствора.

При нейтрализации раствора до рН 9 – 10 происходит количественное осаждение кадмия в виде гидроксида, который после промывки и сушки прокаливают, получая оксид кадмия, соответствующий требованиям ГОСТ 11120-75, пригодный для изготовления щелочных аккумуляторных батарей.

Разработанная технология отличается высокой степенью извлечения кадмия в товарный продукт, экологической безопасностью, возможностью полной регенерации растворителя, отсутствием вредных стоков и вторичных отходов.

УДК 621.3

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАМП В ОСВЕЩЕНИИ

КУЗНЕЦОВА Е.С., СВИРСКАЯ Г.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Энергосберегающая политика государства определяет правовое, организационное, финансово-экономическое регулирование деятельности в области энергосбережения. Федеральные законы «Об электроэнергетике» и «Об энергосбережении» утверждают принципы энергосберегающей политики, определяют экономические и финансовые механизмы её осуществления, вводят льготы потребителям и производителям электроэнергии. На основании федеральных документов разработаны программы энергосбережения на предприятиях, в городах и регионах.

Количеству потребляемой бытовыми приборами энергии соответствуют энергетические уровни в соответствии с классификацией ERR (Energy Efficiency Ratio). Уровни А, В, С – от очень экономичного до экономичного. Уровни Е, F, G – от высокого до очень высокого. D – промежуточное значение.

Повышение эффективности использования энергии в системах освещения одна из приоритетных задач энергосбережения. Установленная мощность осветительных установок на промышленных предприятиях составляет 3 – 10 % от общей установленной мощности, для жилых зданий – 80 %, для общественных и бытовых – 50 – 60 %.

Невозможно вообразить современную квартиру без искусственного освещения. В наше время для полноценной жизни человеку просто необходимо освещение с помощью лампочек. А когда случается отключение элек-

тропитания и приходится проводить вечер при свечах, то кажется, что живешь в позапрошлом веке. Сейчас многие люди даже не знают, кто такие Т. Эдисон и Дж. Сван, но что такое лампочка и как ею пользоваться, могут рассказать даже маленькие дети. Мы благодарны Эдисону, но время не стоит на месте, наука развивается, и теперь мы имеем возможность пользоваться вместо обычных ламп накаливания различными лампами.

Рассмотрим основные параметры ламп освещения.

Напряжение питания – напряжение электрической сети, необходимое для зажигания и стабильной работы лампы. Измеряется в вольтах (В).

Мощность – электрическая мощность, потребляемая лампой. Единица измерения мощности осветительного прибора – ватт (Вт).

Спектральный состав излучения зависит от длины излучаемых источником электромагнитных волн и измеряется в нм (1 нм – длина, равная одной миллионной доле миллиметра). Длины волн, воспринимаемые глазом, лежат в спектральном промежутке от 380 до 780 нм. Наиболее интенсивное излучение, воспринимаемое человеческим глазом, имеет средняя (зеленая) часть видимого спектра с длиной волны 555 нм. Эта интенсивность спадает по мере «перехода» излучения к обеим крайним областям спектра – его синей или красной части. При переходе излучения соответственно в ультрафиолетовое (от 10 до 380 нм) и инфракрасное (от 780 нм до 1 мм) оно становится невидимым.

Световой поток – один из важнейших показателей эффективности светового действия. Мощность излучения сама по себе еще не гарантирует яркости света: ультрафиолетовое или инфракрасное излучение, каким бы мощным оно ни было, человеческим глазом не воспринимается. Сила светового потока определяется как отношение мощности излучения к его спектральному составу. Измеряется в люменах (лм). Образцовая единица светового потока мощностью в 1 лм соответствует потоку зеленого излучателя (с длиной волны в 555 нм) и мощностью излучения в 1/683 Вт.

Световая отдача – с точки зрения энергосбережения, ключевой параметр эффективности источника света. Он показывает, сколько света вырабатывает та или иная лампа на каждый ватт израсходованной на нее энергии. Световая отдача измеряется в лм/Вт. Максимально возможная отдача равна 683 лм/Вт и теоретически может существовать только у источника, преобразующего энергию в свет без потерь. Световая отдача ламп накаливания составляет всего 6 – 15 лм/Вт, а люминесцентных ламп уже приближается к 100 лм/Вт.

Уровень освещенности – параметр, определяющий, насколько освещена та или иная поверхность данным источником освещения. Зависит от мощности светового потока, от расстояния источника света до освещаемой поверхности, от отражающих свойств этой поверхности и ряда других факторов. Единица измерения – люкс (лк). Эта величина определяется как отношение светового потока мощностью в 1 лм к освещенной поверхности площадью 1 кв.м. Иными словами, 1 лк = 1лм/кв.м. Приемлемая для челове-

ка норма освещенности рабочей поверхности по российским стандартам составляет 200 лк, а по европейским достигает 800 лк.

Цветовая температура – важнейший качественный параметр, определяющий степень естественности (белизны) света, испускаемого лампой. Измеряется по температурной шкале Кельвина (К). Цветовую температуру можно условно разделить на тепло-белую (менее 3000 К), нейтрально-белую (от 3000 до 5000 К) и дневную белую (более 5000 К). В жилых интерьерах обычно используют лампы теплого тона, способствующие отдыху и расслаблению, а в офисных и производственных уместны более холодные лампы. Наиболее естественная, а значит, и комфортная для человека, цветовая температура лежит в диапазоне 2800 – 3500 К.

Индекс цветопередачи – относительная величина, определяющая, насколько естественно передаются цвета предметов в свете той или иной лампы. Цветопередающие свойства ламп зависят от характера спектра их излучения. Индекс цветопередачи (Ra) эталонного источника света (т.е. идеально передающего цвет предметов) принят за 100. Чем ниже этот индекс у лампы, тем хуже ее цветопередающие свойства. Комфортный для человеческого зрения диапазон цветопередачи составляет 80 – 100 Ra.

Эксплуатационные характеристики – к важнейшим параметрам эффективности различных типов ламп относятся также средний срок службы, скорость включения и гарантированное число включений, конструктивные особенности исполнения (используемая арматура, разъемная/неразъемная конструкция, совместимость с разными типами патронов, габариты и дизайн изделия). От этих характеристик зависят расходы на эксплуатацию, которые вместе с продажной ценой определяют уровень рентабельности лампы.

Безопасность изделия – критерии, характеризующие безопасность изделия носят двойственный характер. Прежде всего, различают критерии защиты самого светильника от внешних факторов, к которым относятся: попадание пыли, влаги и механические повреждения, а также воздействие климатических факторов. Еще более важное значение имеет степень защищенности внешнего мира от самих ламп, иными словами, их пожаро- и взрывобезопасность, а также защита от поражения потребителя электрическим током, в соответствии с которыми изделия разделяют на различные классы электробезопасности.

Кроме того, искусственный свет активно влияет на человеческое зрение. Он может быть как безвредным, так и опасным для нашего здоровья, что также является важнейшей характеристикой безопасности источника света.

Современные источники света сильно отличаются по сроку службы. Абсолютным лидером здесь являются светодиоды: лампу накаливания пришлось поменять более 100 раз, а светодиоды будут гореть и гореть.

Источники света – один из самых массовых товаров, производимых человеком. Ежегодно производится и потребляется несколько миллиардов ламп, львиную долю которых пока составляют лампы накаливания.

Стремительно растет потребление современных ламп – компактных люминесцентных, натриевых, металлогалогенных. Заманчивые перспективы в энергосбережении, да и в дизайне осветительных установок обещают ультрасовременные светодиоды. Происходящие качественные изменения позволяют надеяться, что источники света в новом тысячелетии станут важным инструментом архитектора, проектировщика, просто творческого человека – главного действующего лица наступающей эпохи дизайна.

По способу генерирования источники света подразделяются на лампы накаливания, галогенные, люминесцентные, разрядные лампы высокого давления и светодиодные.

Лампы накаливания (ЛН). Принцип действия. Вольфрамовая спираль, помещенная в колбу, из которой откачан воздух, разогревается под действием электрического тока. За более чем 120-летнюю историю ламп накаливания их было создано огромное множество – от миниатюрных ламп для карманного фонарика до прожекторных. Типичная для ЛН световая отдача 6 - 15 Лм/Вт. ЛН в большей степени нагреватели, чем осветители: львиная доля питающей нить накала электроэнергии превращается не в свет, а в тепло. В связи с этим сплошной спектр лампы накаливания имеет максимум в инфракрасной области и плавно спадает с уменьшением длины волны. Такой спектр определяет теплый тон излучения ($T_{цв} = 2400 - 2700 \text{ К}$) при отличной цветопередаче ($R_a = 100$).

Срок службы ЛН, как правило, не превышает 1000 ч, что, по временным меркам, очень немного.

Галогенные лампы накаливания (ГЛН). Галогенные лампы – это современный вариант ламп накаливания. Добавление галогенидов в колбу лампы, использование особых сортов кварцевого стекла, «останавливающего» ультрафиолет, «возвращение» теплового излучения на спираль лампы с помощью специальных отражателей – эти технологические новшества позволили сделать серьезный шаг вперед, выделив ГЛН в особый класс источников света. Типичное значение цветовой температуры – $T_{цв} = 3000 \text{ К}$. Существуют также ГЛН «дневного света» с $T_{цв} = 4000 - 4200 \text{ К}$ и даже 6000 К. Цветопередача у них отличная ($R_a = 100$). «Точечная» форма лампы позволяет управлять шириной «луча» в широких пределах с помощью миниатюрных отражателей. Получающийся при этом свет определил приоритет ГЛН в интерьерном дизайне, где они стали фактическим стандартом. Однако, такие отрицательные моменты как нагрев ГЛН значительно снижают область их применения. Привычные в интерьере, благодаря возможности применения миниатюрных световых приборов они вытесняют традиционные лампы-прожекторы PAR в ландшафтных установках наружного освещения (освещение растительности, подводное освещение и т.д.).

Недостатки ГЛН очевидны: недостаточная световая отдача и относительно короткий срок службы (в среднем 2000 – 4000 ч). Там, где эстетический компонент важнее экономического, с ними приходится мириться. В остальных случаях выручают типы ламп, описанные ниже.

Люминесцентные лампы (ЛЛ). Люминесцентные лампы – разрядные лампы низкого давления – представляют собой цилиндрическую трубку с электродами, в которую закачаны пары ртути. Под действием электрического разряда пары ртути излучают ультрафиолетовые лучи, которые, в свою очередь, заставляют нанесенный на стенки трубки люминофор излучать видимый свет. Два различных типа ЛЛ являются классическим примером компромисса в технике. Лампы с трехполосным люминофором более экономичны (световая отдача до 104 Лм/Вт), но обладают худшей цветопередачей ($R_a = 80$), с пятиполосным люминофором имеют отличную цветопередачу ($R_a = 90 - 98$) при меньшей световой отдаче (до 88 Лм/Вт). ЛЛ обеспечивают мягкий, равномерный свет, но распределением света в пространстве трудно управлять из-за большой поверхности излучения. Для работы люминесцентных ламп необходима специальная пускорегулирующая аппаратура (ПРА). Наиболее современны и экономичны электронные ПРА (ЭПРА), разработка которых является одним из самых перспективных направлений развития современной светотехники. Одно из главных преимуществ ЛЛ — долговечность (срок службы до 20000 ч). Благодаря экономичности и долговечности ЛЛ стали самыми распространенными источниками света в офисах предприятий. В странах с мягким климатом ЛЛ широко применяются в наружном освещении городов. В холодных районах их распространению мешает падение светового потока при низких температурах. Если «закрутить» трубку ЛЛ в спираль, мы получим КЛЛ – компактную люминесцентную лампу. По своим параметрам КЛЛ приближаются к линейным ЛЛ (световая отдача до 75 Лм/Вт, $T_{цв} = 2700 - 6000$ К, $R_a = 80$ и более).

Разрядные лампы высокого давления (ДРЛ) осуществляют свечение наполнителя в разрядной трубке под действием дуговых электрических разрядов. Дуговые разрядные лампы намного старше ламп накаливания – в прошлом году электрической дуге исполнилось 200 лет. Два основных разряда высокого давления, применяемых в лампах – ртутный и натриевый. Оба дают достаточно узкополосное излучение: ртутный — в голубой области спектра, натрий – в желтой, поэтому цветопередача ртутных ($R_a = 40 - 60$) и особенно натриевых ламп ($R_a = 20 - 40$) оставляет желать лучшего. Добавление внутрь разрядной трубки ртутной лампы галогенидов различных металлов позволило создать новый класс источников света – металлогалогенные лампы (МГЛ), отличающиеся очень широким спектром излучения и прекрасными параметрами: высокая световая отдача (до 100 Лм/Вт), хорошая и отличная цветопередача $R_a = 80 - 98$, диапазон $T_{цв}$ от 3000 К до 6000 К, средний срок службы около 15000 ч.

Один из немногих недостатков МГЛ – невысокая стабильность параметров в течение срока службы – успешно преодолевается с изобретением ламп с керамической горелкой. МГЛ успешно и разнообразно применяются в архитектурном, ландшафтном, техническом и спортивном освещении. Еще более широко применяются натриевые лампы. На сегодняшний день это один самых экономичных источников света (до 150 Лм/Вт). Огромное коли-

чество натриевых ламп используется для освещения автомобильных дорог. В Москве натриевые лампы часто из экономии используются для освещения пешеходных пространств, что не всегда уместно из-за проблем с цветопередачей.

Светодиодные лампы (СЛ). Полупроводниковые светоизлучающие приборы – светодиоды – называют источниками света будущего. Если говорить о современном состоянии «твердотельной светотехники», можно констатировать, что она выходит из периода младенчества. Достигнутые характеристики светодиодов (для белых светодиодов световая отдача до 25 Лм/Вт при мощности прибора до 5 Вт, Ra = 80 – 85, срок службы 100000 ч) уже обеспечили лидерство в светосигнальной аппаратуре, автомобильной и авиационной технике. Светодиодные источники света стоят на пороге вторжения на рынок общего освещения.

В таблице 1 приведены основные параметры различных ламп освещения.

Таблица 1 – Основные параметры ламп для освещения

Наименование и мощность ламп	Стоимость, руб.	Световая отдача лм/Вт	Цветовая температура, T _{цв} , К	Цветопередача, Ra	Срок службы, ч
Лампа накаливания, 60 Вт (ЛН)	10 – 50	6 – 15	2400 – 2700	100	1000
Галогенная лампа, 35Вт (ГЛ)	300 – 400	18 – 22	3000 – 6000	100	2000 – 4000
Компактная люминесцентная лампа, 10 Вт (КЛЛ)	150 – 300	50 – 75	2700 – 6000	80 – 85	8000 – 15000
Светодиодная лампа, 5 Вт (СЛ)	1000 – 1200	40 – 130	3400 – 6500	80 – 85	50000

Например, произведем расчет экономического эффекта замены ламп накаливания для трехкомнатной квартиры другими более современными лампами.

В трехкомнатной квартире используются 16 ламп средней мощностью 60 Вт. В первом варианте меняем лампы накаливания на галогенные лампы мощностью 35 Вт, во втором варианте – на компактные люминесцентные лампы мощностью 10 Вт, в третьем варианте – на светодиодные лампы мощностью 5 Вт.

Ориентировочное количество часов в день, когда включены лампы – 6 часов, что в год составит $6 \times 365 = 2190$ часов. Период эксплуатации примем равным 50000 часов. Расчеты сведем в таблицу 2.

Годовой расход электроэнергии определяется по формуле:

$$W_{\Gamma} = n \cdot P_{\text{л}} \cdot t_{\text{р}} \cdot 365,$$

где n – число лампочек;

$P_{\text{л}}$ – мощность одной лампочки;

$t_{\text{р}}$ – количество часов работы в сутки.

На рисунке 1 показана диаграмма расхода электроэнергии для различных ламп освещения. По диаграмме видно, что максимальный расход электроэнергии имеют лампы накаливания, а минимальный – светодиодные лампы.

Таблица 2 – Расчет экономической эффективности ламп для освещения

Наименование	Установленная мощность, Вт	Расход электроэнергии за год, кВт·ч	Стоимость электроэнергии за один год, руб.	Срок службы, ч	Общее количество ламп на 50000 часов	Общая стоимость ламп, руб.	Годовые приведенные затраты, руб.	Срок окупаемости, год
ЛН	960	2102,4	2775,2	1000	800	16000	3415,2	-
ГЛ	560	1226,4	1618,9	3000	272	81600	4882,8	56,7
КЛЛ	160	350,4	462,5	9000	96	24000	1422,5	3,5
СЛ	80	175,2	231,3	50000	16	17600	935,3	0,7

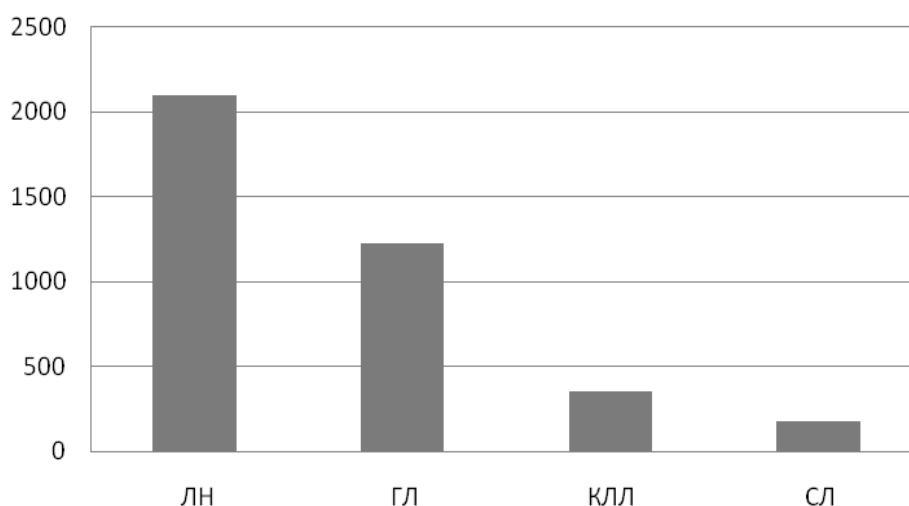


Рисунок 1 – Диаграмма расхода электроэнергии для различных ламп освещения

Годовые приведенные затраты рассчитываются по формуле:

$$Z = K \cdot E_{\text{н}} + I_{\text{эз}},$$

где K – общая стоимость лампочек за весь период эксплуатации 50000 ч;

E_n – нормативный коэффициент, величина обратная периоду эксплуатации;

$I_{ээ}$ – стоимость потерь электроэнергии (тариф 1,32 руб./кВт·ч).

На рисунке 2 приведена диаграмма годовых приведенных затрат для различных ламп освещения. По диаграмме видно, что максимальный расход электроэнергии имеют галогенные лампы, а минимальный – светодиодные лампы.

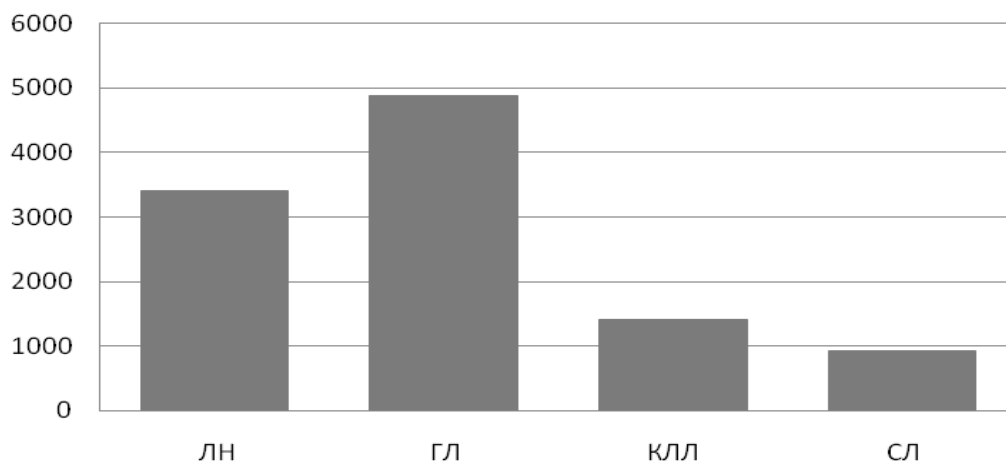


Рисунок 2 – Диаграмма годовых приведенных затрат для различных ламп освещения

Срок окупаемости при замене ламп накаливания более современными лампами определяется формуле:

$$Q_{ie} = \frac{E_{ee} - E_{ei}}{N_{ei} - N_{ee}}$$

На рисунке 3 приведена диаграмма срока окупаемости для различных ламп освещения.

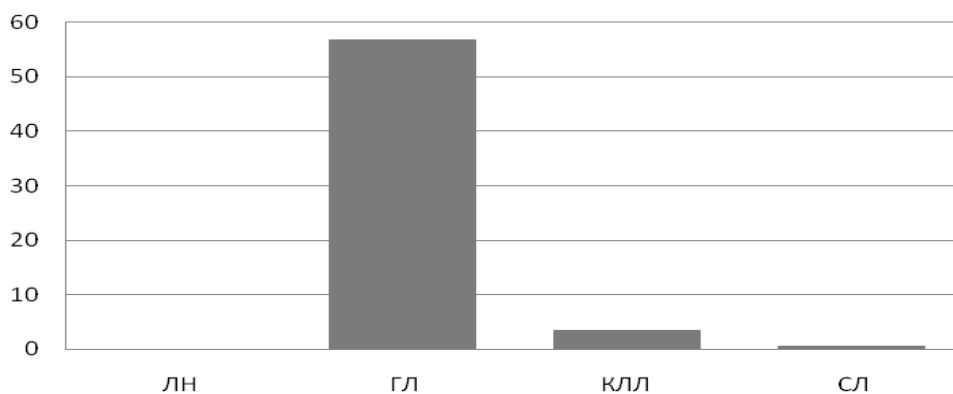


Рисунок 3 – Диаграмма срока окупаемости для различных ламп освещения

Из диаграммы видно, что экономически выгодно произвести замену ламп накаливания 60 Вт на компактные люминесцентные лампы мощностью 10 Вт или на светодиодные лампы мощностью 5 Вт. Это позволит сократить расход электроэнергии в год для КЛЛ – на 1752 кВт·ч, а СЛ – на 1927 кВт·ч и уменьшить издержки на оплату электроэнергии для КЛЛ – на 2312,7 руб., а СЛ – на 2543,9 руб. Третий вариант требует более существенных первоначальных вложений по сравнению со вторым (КЛЛ – 4000 рублей, СЛ – 17600 руб.), а срок службы светодиодных ламп больше срока службы компактных люминесцентных ламп в 6 раз и они не требуют утилизации.

УДК 621.311:378

ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ В РЕГИОНАЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ

КАЛЮС О.С., Овчинников Н.В.

***ООО «ПроТех-СК»
г. Кемерово***

Цели деятельности различных структур по энергосбережению можно представить следующим образом:

– *Для законодательной власти* – повышение благосостояния населения (социальная цель), в частности, через уменьшение стоимости энергии для населения.

– *Для исполнительной власти* – выполнение государственной цели по повышению энергэфективности;

– *Для бизнеса:*

– увеличение прибыли за счет сокращения затрат на энергию и энергоресурсы;

– повышение конкурентной способности производимой продукции за счет снижения электропотребления.

– *Для муниципальных и региональных образований* – уменьшение бюджетных затрат в ЖКХ и дотации населению.

– *Для экономики в целом* – переход на уровень затрат энергии и энергоресурсов на единицу продукции в развитых странах.

Основными объектами энергосбережения являются:

– Производственные и сельскохозяйственные предприятия;

– Организации и учреждения;

– Жилые и административные здания;

– Территориальные образования, основной структурой которого явля-

ются поселения.

Деятельность по энергосбережению представляется состоящей из двух этапов:

Первый этап – подготовительный, конечным результатом которого является принятие конкретных решений: технических; законодательных; финансовых; организационных.

Второй этап – реализация принятых решений. Конечным результатом является достижение заданных целей.

Реализация второго этапа, в значительной степени, относится к строительной деятельности.

Реализацию первого этапа наиболее целесообразно проводить через энергосервисные коммерческие организации, которые должны предъявить законченный результат своей деятельности. То есть не только предложить, обосновать, разработать целевые программы и отдельные предложения, но и *организовать* процесс реализации строительным комплексом работ до достижения заданной цели (проектирование, строительство, ввод в эксплуатацию). Таким образом, энергосервисная организация отвечает перед заказчиком за результат всей энергосберегающей деятельности.

На основании выше изложенного, организация и управление деятельностью по энергосбережению представляется по схеме, изображенной на рисунке 1.

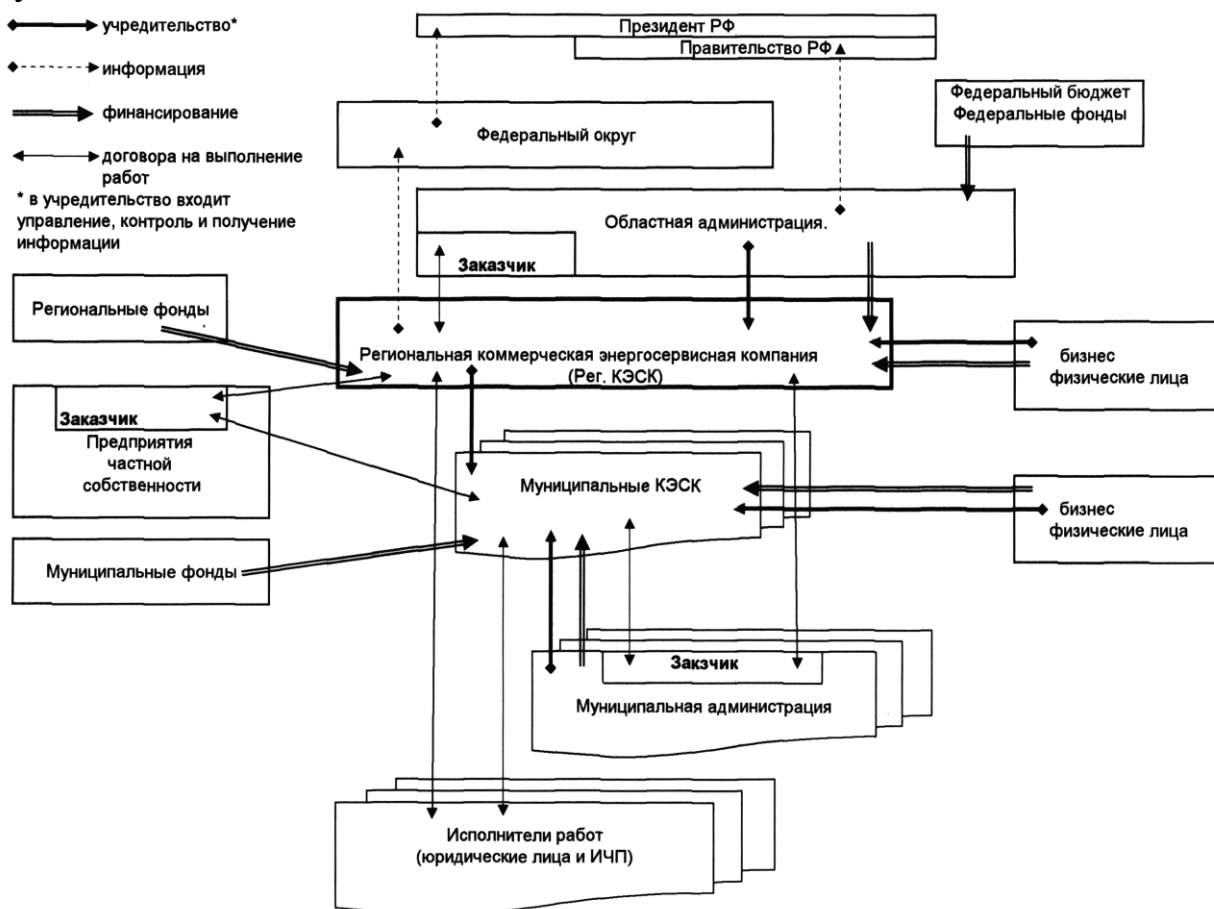


Рисунок 1 – Организационная структура системы управления энергосбережением

Основной организацией на региональном уровне предлагается управляющая организация, которой является региональная коммерческая энерго-сервисная компания (Рег. КЭСК). Дочерними организациями – муниципальные *коммерческие* энергосервисные компании (Мун. КЭСК).

Учредителями энергосервисных компаний выступают соответствующие региональные и муниципальные органы власти, юридические и физические лица. *Власть через свое присутствие осуществляет проведение государственной политики, бизнес – реализацию. КЭСК предполагается как частно-государственное образование.*

Энергосервисные компании заключают *долгосрочные договоры* с заказчиками на организацию работ по энергосбережению, и договора подряда с исполнителями (по согласованию с Заказчиками) для выполнения конкретных работ строительного комплекса. Или, вместо договоров подряда, договора с Заказчиками на техническую организацию и контроль качества работ строительного комплекса.

Основными принципами деятельности энергосервисных компаний должны быть:

- максимальная демократичность принятия решений;
- максимальная открытость;
- минимизация затрат Заказчика в текущей деятельности, при получении согласованной прибыли по результатам деятельности;
- согласованная с администрацией региона политика ценообразования собственной деятельности;
- достойная оплата труда специалистов.

Коммерческая энергосервисная компания (КЭСК) – оказывает услуги хозяйствующим субъектам по следующим видам работ:

- снижению затрат на энергоресурсы и энергию;
- модернизации технологий путем внедрения современных энергосберегающих методик, инновационных технологий, современного оборудования на предприятиях промышленного и сельскохозяйственного комплекса, на объектах ЖКХ и в бюджетных учреждениях, в энергоснабжающих и энергопотребляющих организациях.

– энергетическим (возможно экологическим) обследованиям, анализу и выдаче рекомендаций по повышению энергоэффективности с учетом экологической составляющей и стоимостных показателей;

– созданию целевых и инвестиционных программ (в части деятельности по энергосбережению), разработке предложений по институциональным преобразованиям для предприятий тепло-и электроэнергетики, сферы ЖКХ с целью повышения энергоэффективности и инвестиционной привлекательности;

– организации, контролю и мониторингу реализации планов энерго-сбережения;

– оказанию помощи Заказчику для достижения проектных энергетических показателей товарной продукции;

– оказанию инженерных и организационных услуг Заказчику при эксплуатации энергетических и энергопотребляющих объектов.

Энергосервисная компания для проведения энергоаудита должна иметь *достаточный приборный парк* для регистрации и записи физических параметров, а также высококвалифицированных специалистов различных направлений: теплотехников, электриков, специалистов по АСУ ТП, экономистов, организаторов по технологии строительства.

Энергосервисная компания достаточно дорогостоящее предприятие, для содержания которой необходим гарантированный объем работ. Поэтому учредителями такой организации должны быть заинтересованные предприятия: проводящие энергосберегательную политику; предприятия реализующие энергосбережение (предприятия строительного комплекса); власть - как главный инициатор энергосбережения.

Логистика деятельности по энергосбережению достаточно четко определена в «Стратегии повышения энергоэффективности в муниципальных образованиях», и в отчете о научно-исследовательской работе «Стратегия повышения энергоэффективности Коммунальной инфраструктуры Российской Федерации», разработанной группой организаций по заданию мин.эконом.развития и предоставленных в интернете.

Основные выводы из этих работ:

1. Необходим системный подход и программно-целевой метод в управлении энергосбережением;

2. Множество участников процессов энергоснабжения и энергосбережения сводится к трем большим группам: энергоресурсоснабжающие предприятия, потребители, власть.

В процессе должны участвовать энергосервисные и консалтинговые компании, инвесторы, застройщики и др. Но объективно они могут осуществить свое воздействие только через этих трех участников.

Все перечисленные участники, как юридические лица, так и управленцы, представляющие их, имеют свои цели, зачастую несовпадающие (в том числе и личные). Деятельность по энергосбережению должна оптимизировать различные цели относительно друг друга, стимулировать и контролировать личные цели управленцев. Оптимизация может быть реализована при совместном управлении деятельностью, где власть отвечает за социальные и общегосударственные цели, а бизнес осуществляет реализацию целей.

Предлагаемая схема управления и деятельности через КЭСК, по мнению авторов, в достаточной степени может консолидировать различные цели. Учредительство региональной КЭСК позволит проводить единую техническую политику по отношению к энергосбережению.

СТРАТЕГИЯ МУНИЦИПАЛЬНОГО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

СТЕРЛИГОВ В.В.

*Центр энергосбережения
Сибирский Государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Основным принципом деятельности по энергосбережению (ЭС) на территории РФ является следующее положение: «Все и любые мероприятия реализуются в каком-то поселении!» Отсюда вывод: органы самоуправления обладают самой важной ролью.

Органами местного самоуправления в своей деятельности по ЭС нужно исходить из того, что в этой сфере существует круговое триединство (рисунок 1).

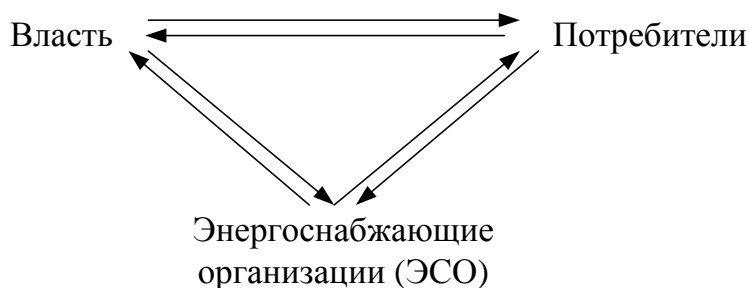


Рисунок 1 – Круговое триединство в деятельности по ЭС

При этом власть обладает ключевыми возможностями и имеет наибольший интерес в организации и ЭС.

В отличие от других участников процесса энергосбережения Власть должна заботиться не только об экономическом и экологическом эффектах, но и, наверное, в первую очередь о политическом и социальном эффектах от ЭС в жизни управляемых муниципальных образований. Поэтому работа по ЭС должна иметь социальную направленность и быть публичной.

Органы местного самоуправления организуют свою работу в рамках федерального и регионального законодательства и в соответствии со своими полномочиями осуществляют различные виды регулирования, включая правовое, административное, бюджетное, налоговое, тарифное и техническое.

К полномочиям органов местного самоуправления необходимо отнести следующие функции:

- Разработка и реализация энергосбережения (ЭС);
- Формирование Программы по ЭС;
- Создание основ для общественного регулирования на уровне само-

регулируемых организаций в области ЭС;

- Развитие организаций и учреждений, занятых в ЭС, таких, как энергоаудиторские и энергосервисные организации, структуры по разработке и сопровождению Программ ЭС, консалтинговые и обучающие центры, а также организации по пропаганде ЭС и информационному обеспечению;

- Установление требований энергоэффективности (ЭЭ) в программах комплексного развития инженерной инфраструктуры муниципальных образований, контроль за их использованием;

- Сбор статистической отчетности по энергопотреблению, систематизация и анализ этих данных;

- Заключение соглашений о добровольном ограничении и повышении ЭЭ;

- Разработка системы нормативных правовых актов по ЭС в рамках федерального и регионального правового регулирования;

- Создание фондов ЭС и другие вопросы.

Однако эти возможности существуют только лишь формально и для их реализации нужно обладать или опытом и знаниями, или же иметь точные и грамотные методические нормативные документы по организации процесса ЭС. Поскольку ни того, ни другого у местных властей пока нет, процесс ЭС идет не эффективно, если не сказать большего. Во многих городах местные власти, следуя указаниям свыше, издали распоряжения для муниципальных организаций и учреждений по экономии электроэнергии, вероятно, вследствие событий на Саяно-Шушенской ГЭС. Но никто не удосужился хотя бы предложить этим людям перечень возможных мер и действий с приблизительной оценкой эффекта. С них потребовали и выполняй! («Пооди, туда – не знаю куда, принеси то – не знаю что»).

Вся эта авральная суета возникает тогда, когда планом не предусмотрены все возможные ситуации и пути их разрешения. Поэтому первое, что предстоит сделать в области как субъекта федерации, и в муниципальных образованиях – осуществить разработку планов и программ по энергопотреблению и энергоснабжению, с учетом возможности разных сценариев, включая кризисы и катастрофы. Необходимо говорить об энергетической безопасности региона и ее осуществлении.

Определение условий энергетической безопасности потребует выработки большого количества нормативов, от правовых до технических. Очевидно, что только некоторые муниципальные образования в состоянии найти на своей территории специалистов с достаточной квалификацией для их разработки. Поэтому региональным властям необходимо позаботиться о создании пакета модельных документов, которые местные власти могли бы утверждать для территорий под их юрисдикцией. Эти документы общие по форме для всех муниципальных образований области должны иметь «рецептурный» характер. Разработка таких документов, в свою очередь требует информации с мест, ее анализа и обобщения. Для этого предлагается создать научно-методический Совет из специалистов по ЭС, который мог бы выпол-

нить эту работу. Возможен и такой вариант, когда какое либо муниципальное образование, разработав свою рациональную систему норм, программ и документов, могло бы предложить ее как свой интеллектуальный продукт для реализации властям области или для других образований.

Для использования таких документов потребовалось бы обучение муниципальных специалистов. Причем, если обучение по ЭС хоть в какой-то форме и проводится то, как правило, для технических работников – главных инженеров и энергетиков. Необходимо, чтобы обучение прошли управленцы-менеджеры, кто действительно осуществляет управление в полном спектре всех управляющих воздействий – правовых, методических, технических.

Не трудно увидеть, что структуры органов исполнительной власти примерно одинаковы для разных муниципалитетов. Из тех департаментов и управлений, в которых могло бы реализоваться ЭС это бюджетные и социальные учреждения, городское коммунальное и жилищное хозяйство, промышленность и строительство. Безусловно, каждая из сфер обладает своими особенностями, что скажется в ней на характере работы по ЭС.

Организация в бюджетной сфере должна предусматривать заключение муниципальных контрактов, содержащих следующие положения:

- Создание типовых контрактов по ЭС и системы стимулирования их выполнения, равно как и контроля за этим процессом;

- Создание системы управления энергопотребления и ЭС на территории муниципального образования;

- Возможность использовать сэкономленные средства в будущем году на развитие учреждения и мотивацию исполнителей по ЭС, в течение года прежние нормы бюджетирования;

- Предоставление возможности использования средств для оплаты энергоносителей на ЭС;

- Проведение этих мероприятий возможно на основе энергоаудита и системной работы с энергетическими паспортами по каждому объекту, будь то структура или сооружение.

ЖКХ и услуги населению – это та позиция, где усилия властей наиболее очевидны и на которых нужно сосредоточить внимание. Само слово «Энергосбережение» по смыслу является противоположностью слову «энергопотери», поэтому ЭС в этой сфере – это борьба с потерями. Потери эти должны быть видимыми и осязаемыми. Никто не заставит жильцов дома бороться с протеканием бачков, если он и его сосед с исправным бочком платят одинаково, как и соседи, у одного из которых устроены «теплые полы» с использованием горячей воды, а у другого этого нет. Установка приборов учета сама по себе не дает экономии энергии, но она дает толчок в сознании: «Я плачу за то, что потребил!» В развитие этой логики он спросит потом: «А как же я плачу за тепло?» Это повлечет ответственность управляющих и энергоснабжающих компаний (ЭСО). Для населения необходимо также вводить двухставочные тарифы и не только за электроэнергию, но и дифференцировать оплату за отопление с учетом типа и состояние жилья.

А, прежде всего, – население нужно учить ЭС. Для этого необходимо через средства массовой информации, газеты и ТВ, спецвыпуски, брошюры и листовки, убеждать в том, что населению выгодно заниматься ЭС. У Власти достаточно рычагов для воздействия на СМИ и каналов для взаимодействия с ними.

Особое внимание заслуживают ЭСО, которые работают с вала, с выручки, и им чем больше пройдет энергии, тем больше дохода. Система взаимодействий Власти и ЭСО на основе договоров энергоснабжения должна предусматривать меры по сочетанию узкокорпоративных целей ЭСО и широких задач муниципального образования.

Что касается производственных предприятий, то для них в большей мере применимо понятие «энергоэффективность». При производстве, какого либо продукта энергия как часть входит в его цену и сам производитель заинтересован в экономии энергии, т.е. его можно не подстегивать. Но поскольку он черпает энергию из общего источника, подчас не очень обильного, то его в этом нужно ограничивать, устанавливая количество потребляемой энергии на основе производительности и прогрессивных нормативов расхода энергии на единицу продукции.

Отсутствие в этой статье перечня технических мероприятий не означает их малой роли. Технологий, материалов и приборов достаточно в арсенале ЭС. На наш взгляд, энергосбережение нужно создавать как систему взглядов, структур и технологий. Именно организационные мероприятия на первых этапах дают до 80 % эффекта. Создание нового мышления у «Власти – населения – ЭСО», постановка новых целей и задач, обучение и просвещение дадут ту базу, на которой возможно ЭС с использованием всех технических возможностей. Любая работа начинается с головы!

УДК 658(02)

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАБОТЫ ОГРАЖДЕНИЙ ЗДАНИЙ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ОТОПЛЕНИИ

СТЕРЛИГОВ В.В., Овчинников Н.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Одной из функций ограждения зданий (стен) является предотвращение тепловых потерь и сохранение комфортных условий внутри помещения. В последнее время вместо традиционной монолитной стенки из однородного материала (например, кирпичная стенка) активно внедряется двухслойная стенка из основного несущего материала и теплоизоляционного слоя.

Установка теплоизоляции возможна двумя способами – внутри помещения или снаружи. Последняя реализуется при так называемых «вентилируемых фасадах», когда на несущую бетонную стенку крепится слой тепло-

изоляционного материала. С точки зрения теплового сопротивления стены и уменьшения тепловых потерь совершенно безразлично, где устанавливается теплоизоляция – снаружи или внутри помещения. Но предлагаемый метод циклического отопления [1], заставляет по-другому взглянуть на структуру ограждения зданий.

Циклический метод отопления зданий заключается в изменении мощности отопления в различные часы суток, что особенно важно для так называемых «социальных» зданий (школы, офисы, банки и т.д.). В помещениях этих учреждений в рабочие часы устанавливается температура, определяемая санитарно-гигиеническими нормами, а в нерабочее время мощность отопления снижается для достижения более низких температур. За несколько (2 – 3) часов до наступления рабочего времени отопление переводится на форсированный режим, за счет чего снова достигается комфортный уровень температуры. При таких условиях работы отопления структура ограждения и место установки теплоизоляционного слоя уже будет влиять на эффективность работы отопления, что доказывается в настоящей статье.

Представленные суждения основаны на классических уравнениях теплообмена и для доказательства рассмотрим численный пример. В качестве изучаемого объекта взята стена из железобетона толщиной $\delta_1 = 0,2$ м и слой базальтового волокна толщиной $\delta_2 = 0,05$ м.

Плотность теплового потока через стенку q [Вт/м²] от одной среды (внутри помещения) с температурой $t_{вн}$ к другой среде (атмосфера) с температурой $t_{нар}$, определяется уравнением [2]:

$$q = \frac{t_{i \rightarrow \delta} - t_{\delta i}}{\frac{1}{\alpha_{\delta i}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_{i \rightarrow \delta}}}, \quad (1)$$

где λ_1 и λ_2 – коэффициент теплопроводности для бетона и базальтового волокна соответственно, Вт/(м·град);

$\alpha_{вн}$ и $\alpha_{нар}$ – коэффициент теплоотдачи от внутренней среды к стенке и от стенки к окружающей атмосфере соответственно, Вт/(м²·град).

Из литературных источников определяем: $\alpha_{вн} = \alpha_{нар} = 15$ Вт/(м²·град) [1]. Характеристики бетона [3]: $\rho_{бетон} = 2200$ кг/м³, $\lambda_1 = 1,28$ Вт/(м²·град). Характеристики базальтового волокна [4]: $\rho_{баз} = 250$ кг/м³, $\lambda_2 = 0,025$ Вт/(м²·град). В качестве исходных температурных условий принимаем $t_{вн} = 20$ °С, $t_{нар} = -30$ °С

Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Анализ таблицы показывает, что плотность теплового потока не зависит от места установки теплоизоляционного слоя, что и следовало ожидать. Вместе с тем дополнительные расчеты показывают, что если отказаться от слоя теплоизоляции, то тепловые потери при $t_{вн} = 20$ °С составляют 200 Вт/м², т.е. увеличиваются в 9 раз!

Таблица 1 – Распределение температур в стенке здания

Температура внутри помещения (t_b), °С	Изоляция внутри			Изоляция снаружи		
	20	15	12	20	15	12
Плотность теплового потока (q), Вт/м ²	22,49297	20,24367	18,8941	22,49297	20,24367	18,8941
Температура на поверхности внутренней стенки (t_1), °С	18,50047	13,65042	10,74039	18,50047	13,65042	10,74039
Температура на поверхности внешней стенки (t_2), °С	-28,5005	-28,6504	-28,7404	-28,5005	-28,6504	-28,7404
Температура на границе слоёв ($t_{гр}$), °С	-26,4855	-26,8369	-27,0478	14,98594	10,48735	7,788191
Температура в середине внутреннего слоя ($t_{сп1}$), °С	-3,9925	-6,59325	-8,1537	16,74321	12,06888	9,264292
Температура в середине внешнего слоя ($t_{сп2}$), °С	-27,493	-27,7437	-27,8941	-6,75726	-10,4311	-10,4761

Уменьшение температуры в помещении снижает тепловые потери, и при 12 °С, что является обычным уровнем при циклическом отоплении, разница составляет 16 %. Это и есть показатель экономии тепла при циклическом отоплении. Причем, эта величина одинакова при разных конструкциях стены и не зависит от места расположения теплоизолятора.

Различие в результате расчетов при разных схемах устройства стен проявляется в распределении температур в каждом из слоев. Это обстоятельство, безусловно, влияет на условия службы стены, но данный вопрос выходит за предмет обсуждения в этой статье.

Фактором, который может определить более рациональное место установки слоя теплоизоляции в стене является тепло, аккумулированное стеной при разогреве ее до уровня, определяемого условиями комфортности Q , Дж/м², а также время, необходимое для разогрева стены, τ , с.

Количество тепла, аккумулированное кладкой, рассчитывается по уравнению:

$$Q = c \cdot \rho \cdot \delta \cdot F (t_{ст2} - t_{ст1}), \text{кДж}, \quad (2)$$

где c – удельная теплоемкость материала, кДж/(кг·град);

ρ – плотность материала стенки, кг/м³;

F – площадь слоя, м²;

$t_{ст2}$ – средняя температура стенки в конце нагрева, °С;

$t_{ст1}$ – средняя температура стенки в начале нагрева, °С.

Для того, чтобы можно было сравнивать процессы в стенках разных

размеров и помещений принимаем $F = 1 \text{ м}^2$, что дает нам при использовании уравнения (2) величину удельного, т.е. на единицу поверхности, количества тепла Q , кДж/м².

Хотя данные таблицы 1 показывают, что при стационарном режиме, для которого они были определены, меняется средняя температура каждого слоя ($t_{ст1}$ и $t_{ст2}$), однако опыт показывает, что практически с учетом инерционности режима прогрева изменяется распределение температуры только в слое, на поверхности которого меняются условия теплообмена. В нашем случае, это внутренний слой, обращенный в помещение, где меняется температура при циклическом отоплении.

Для случая, когда теплоизоляция находится внутри помещения, считаем:

$$Q_{\text{вн}} = \tilde{n}_{\text{вн}} \cdot \rho_{\text{вн}} \cdot \delta_{\text{вн}} \cdot 1 \cdot (t_{\text{вн}2}'' - t_{\text{вн}2}') = 10,4, \text{ кДж/м}^2.$$

Теплофизические свойства базальтового волокна $c_{\text{баз}} = 0,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{град)}$, $\rho_{\text{баз}} = 250 \text{ кг/м}^3$ взяты из справочника [3], а $t_{\text{сп}2}''$ и $t_{\text{сп}2}'$ взяты из таблицы 1 при значениях температур в помещении $20 \text{ }^\circ\text{C}$ и $12 \text{ }^\circ\text{C}$, соответственно.

Таким же образом определяем затраты тепла на разогрев бетона, когда он находится внутри, а теплоизоляция снаружи

$$Q_{\text{вн}} = \tilde{n}_{\text{вн}} \cdot \rho_{\text{вн}} \cdot \delta_{\text{вн}} \cdot 1 \cdot (t_{\text{вн}1}'' - t_{\text{вн}1}') = 2764 \text{ кДж/м}^2.$$

Значения $c_{\text{бет}} = 0,84 \text{ кДж/м}^3$ и $\rho_{\text{бет}} = 2200 \text{ кг/м}^3$ взяты из [3], а $t_{\text{ст}2}''$ и $t_{\text{ст}2}'$ взяты из таблицы 1.

Из сравнения этих цифр очевидно, что установка слоя теплоизоляции внутри потребует гораздо меньших затрат тепла для нагрева внутреннего слоя. Мощность режима нагрева зависит еще от времени выделения тепла, которое может быть оценено следующим образом.

Задача относится к нестационарной теплопроводности и может быть аппроксимирована как нагрев полубесконечной плиты неограниченных размеров [5]. Прогрев толстых стен металлургических печей, фундаментов, почвы приблизительно соответствует этому случаю нагрева.

Математическим признаком таких условий нагрева является условие

$$Bi = \frac{\alpha \cdot S}{\lambda} = \infty; \quad (3)$$

«Bi» это число Био, которое является оператором теории подобия [6], где α – коэффициент теплоотдачи от среды к поверхности тела, Вт/(м²·град);

S – глубина прогрева, м;

λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·град).

Для вышеперечисленных случаев применение этого метода условие $Bi = \infty$ реализуется за счет большой глубины прогрева, т.е. когда $S \rightarrow \infty$ (прогрев почвы, например). В нашей задаче условие $Bi \approx \infty$ достигается за счет малости $\lambda \approx 0$. Такая аппроксимация нашего случая правомерна, поскольку теплопроводность базальтового волокна очень мала.

При решении указанной задачи нестационарной теплопроводности при граничных условиях первого рода, когда температура поверхности достигает мгновенно какого-то значения и остается неизменной, т.е. реализуется условие $t_{\text{пов}} = \text{const}$, дифференциальное уравнение теплопроводности для нахождения температуры в каждой точке тела через какое-то время принимает вид:

$$t = t_{\text{пов}} (t_{\text{пов}} - t_{\text{н}}) \cdot \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{\eta=0}^{\eta=B} e^{-\eta^2} d\eta, \quad (4)$$

где $\eta = \frac{x}{\sqrt{4at}}$ – сложная переменная;

x – расстояние от поверхности, м;

τ – время, с;

a – коэффициент температуропроводности материала стенки, $\text{м}^2/\text{с}$.

Величина « a » определяется следующим образом:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}, \quad (5)$$

Все приведенные величины: λ – коэффициент теплопроводности, c – удельная теплоемкость и ρ – плотность материала, уже использовались ранее.

Была создана компьютерная программа, которая позволяла рассчитать распределение температур в слое, задаваясь позицией точки расчета и временем нагрева. Слой теплоизоляции был разбит на элементарные слои толщиной 1 см (0,01 м) для базальта и 4 см (0,04 м) для бетона. Результаты расчетов, что для базальта через 1,4 часа (5000 с) после начала остывания от 20 до 12 °С распределение температур по точкам практически полностью совпадает с распределением температур при стационарном режиме (см. таблицу 1) и также видно, что этого времени недостаточно для перехода температур в бетонном слое в состояние, характерное для стационарного режима.

Задаваясь различными значениями времени τ по уравнению (4) определяли время, за которое распределение температур совпадает с распределением, характерным для стационарного состояния. При этом за начальное принималось стационарное распределение температур при $t_{\text{пов}} = 12$ °С, а за конечное – при $t_{\text{пов}} = 20$ °С. Расчеты показали, что для слоя базальтового волокна этот момент наступает через 600 с, а для бетонного слоя 5000 с (1,4 ч). Таким образом и по этой позиции – время разогрева слоя, размещение слоя теплоизоляции внутри помещения является предпочтительно.

Из уравнения (4) можно получить выражения плотности теплового потока через контрольную поверхность, как:

$$q = \frac{\lambda(t_{\text{пов}} - t_{\text{нач}})}{\sqrt{\pi at}} \cdot e^{-\frac{x^2}{4at}}, \text{ Вт/м}^2, \quad (6)$$

а из этого уравнения можно определить суммарное количество тепла, поглощенное телом через 1 м^2 поверхности:

$$Q = \frac{2\lambda(t_{\text{п}} - t_{\text{нач}})}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{\frac{\lambda c \rho}{\tau}} \cdot \tau, \text{ Дж/м}^2. \quad (7)$$

Причем эти уравнения (6) и (7) позволяют определить тепловые потоки и количество поглощенного тепла как для отдельного слоя, так и для всего тела, в виде суммы величин Q для каждого слоя. Результаты расчета показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Тепловые потоки и аккумулированное тепло

Точки	Базальт						Бетон					
	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅
Толщина, м	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0	0,04	0,08	0,12	0,16	0,2
Тепл. потк, Вт/м ²	10,03	6,84	3,10	0,89	0,15	0,01	18,68	18,34	17,86	17,27	16,57	15,77
Количество тепла, кДж/м ²	0	5,57	3,81	1,72	0,49	0,08	0	582,8	572,2	557,4	538,9	517,0

Суммарное количество поглощенного всем слоем тепла равняется величинам для базальта $\sum_{i=1}^n Q_i = 11,670$ кДж/м² и для бетона

$\sum_{i=1}^n Q_i = 2768$ кДж/м², что соответствует порядку величин, определенных по уравнению (2).

Рассчитанные величины могут быть использованы для определения мощности, необходимой системе для возвращения на уровень комфортных температур. Мощность определяется следующим выражением:

$$N = \frac{\sum q}{\tau}, \text{ кВт}, \quad (8),$$

откуда для базальта $N_{\text{баз}} = \frac{11670}{600} = 0,019$ кВт/м²; для бетона

$$N_{\text{бет}} = \frac{2768}{5000} = 0,554 \text{ кВт/м}^2$$

Понятно, что это предельная мощность, определяемая теплофизическими свойствами материала. Если сравнить два случая, две схемы расположения слоя изоляции при реальном времени разогрева, что на практике составляет, как правило, 2 часа [1], тогда мы получим следующие результаты

$$N_{\text{баз}} = \frac{11670}{7200} = 1,62 \cdot 10^{-3} \text{ кВт/м}^2 \text{ и } N_{\text{бет}} = \frac{2768}{7200} = 0,384 \text{ кВт/м}^2.$$

Таким образом, все теплотехнические показатели, характеризующие работу теплоизоляционного слоя, говорят в пользу установки его внутри помещения при использовании циклического отопления здания.

При такой структуре ограждения здания (стены) может быть получен эффект, обусловленный снижением тепловых потерь при понижении темпе-

ратуры ниже уровня комфортности. В тепловых единицах он выразится как:

$$\Delta q = (q_{20} - q_{12})\tau_{-}, \text{ Дж/м}^3; \quad (9)$$

здесь q_{20} – плотность теплового потока при $t_{\text{вн}} = 20$ °С, Вт/м²;

q_{12} – то же при $t_{\text{вн}} = 12$ °С, Вт/м²;

τ – время пребывания помещения при пониженной температуре $t_{\text{вн}} = 20$ °С.

Принимая рабочее время, в зданиях различных публичных (социальных) организаций $\tau_{\text{раб}} = 10$ ч, определим $\tau = 24 - \tau_{\text{раб}} = 14$ ч. В этом случае теплотехнический эффект за сутки будет измеряться величиной:

$$\Delta q = (22,492 - 18,894) \cdot 14 \cdot 3600 = 18,2 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{сутки}).$$

Годовая экономия может быть определена с учетом температуры наружного воздуха, с учетом этого обстоятельства если принять, что в течении года продолжительность отопительного сезона составляет 240 суток, то тепловой эффект будет в два раза ниже, за то за год экономия может составить:

$$\Delta Q = \Delta q \cdot 240 = 21840 \text{ кДж}/\text{м}^2 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Гкал}/\text{м}^2.$$

Экономический эффект по условиям Кузбасса, где в среднем стоимость 1 Гкал можно принять 600 руб., составит:

$$\Delta \Delta = \Delta Q \cdot c = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 600 = 3 \text{ руб}/\text{м}^3.$$

Экономия тепла на отопление приведет к снижению расхода топлива. Если рассчитывать показатели для условного топлива, то экономия составит:

$$\Delta M_{\text{од}} = \frac{\Delta Q}{Q_{\text{г}}^{\text{д}} \eta_{\text{г}}^{\text{д}}} = 2,4 \text{ кг у.т.}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}),$$

где $Q_{\text{г}}^{\text{д}} = 2930$ кДж/кг у.т. – теплота сгорания условного топлива

$\eta_{\text{от}}$ – коэффициент использования топлива для систем отопления, принимаем $\eta_{\text{от}} = 0,3$ [7].

Используя величину нормативной эмиссии CO_2 для 1 кг у.т. ($m_{\text{CO}_2} = 2,73$ кг/кг у.т.) [8], определим уменьшение выбросов диоксида углерода в атмосферу:

$$\Delta M_{\text{CO}_2} = m_{\text{CO}_2} \cdot \Delta M_{\text{од}} = 2,73 \cdot 2,4 = 6,5 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}).$$

Не следует относиться пренебрежительно к малости этих величин, т.к. они определены на 1 м² ограждения здания и в масштабах любого муниципального образования общий эффект будет в тысячи и миллионы раз больше приведенных величин. Очевидно, что полученные результаты должны сопоставляться с затратами для определения конечных показателей.

Выводы:

Доказана целесообразность применения теплоизоляции для огражде-

ния зданий и рациональность ее расположения внутри здания при прогрессивном методе циклического отопления.

Была предложена модель расчета прогрева стены при циклическом отоплении и разработана компьютерная программа для ее реализации. На основе этой модели выполнены расчеты, определяющие эффективность данного способа отопления. Адекватность модели была подтверждена замерами температур внутри базальтового слоя при установке термопар в двух точках по толщине слоя. Расхождение температур составило %. Правильность подхода имеет доказательства в практике работы металлургических печей периодического действия, где применяется внутренняя кладка (футеровка) из волокнистых материалов.

Рассчитанные величины имеют оценочный характер, определяют принципиальные особенности задачи. Для практических точных расчетов при проектировании необходимо иметь точные значения теплофизических параметров.

Библиографический список

1. Станкевичус В. и др. Энергосбережение / 2002. – №.1. – С. 54-56.
2. Михеев М. В., Михеева И.М. Основы теплопередачи / М.: Энергия, 1972. – 308 с.
3. Казанцев Е.В. Промышленные печи / М.: Металлургия, 1964, – 484 с.
4. Коммерческие предложения от компании «Теплотроника» по производству базальтового волокна / Электронный ресурс, режим доступа [www.glavbukh.ru/ar45516]
5. Шорин С.Н. Теплопередача / М.: Высшая школа, 1974. – 490 с.
6. Гухман А.А. Введение в теорию подобия / М.: Высшая школа, 1973. – 295 с.
7. Гришкова А.В. и др. Новости теплоснабжения / – 2003. – № 1. – С. 35 – 41.
8. Лисиенко В.Г. и др. Хрестоматия энергосбережения / в 2-х томах/ М.: Теплоэнергетик, 2003. – Т. 1. – 688 с.

УДК 347.4:621.31

ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ДОГОВОРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СФЕРЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

АГЕЕВ А.В.

***ОАО «Кузбассэнергосбыт»
г. Новокузнецк***

Электроснабжение воспринято законодателем в качестве программы, связанной с обеспечением жизнедеятельности населения. Именно поэтому масштабная роль электроснабжения предполагает развернутое и детальное

правовое регулирование, которое, однако, вряд ли можно пока считать достаточно разработанным и адекватным складывающимся социальным потребностям.

Анализ действующего в области энергоснабжения законодательства, а также практики применения данного законодательства со всей очевидностью свидетельствует о его несовершенстве. Обращает на себя внимание традиционная множественность и низкое качество нормативных правовых актов, регулирующих рассматриваемые правоотношения. Большинство норм упомянутых актов в силу их несовершенства и двусмысленности настолько запутаны, что порой разобраться в них невозможно даже правоприменителю.

Имеет место неопределенность во многих существенных аспектах энергоснабжения, среди которых особо нужно выделить вопросы квалификации договорных отношений в электроэнергетике, в частности, отношений между абонентом и субабонентом.

В соответствии со статьей 545 ГК РФ «абонент может передавать энергию, принятую им от энергоснабжающей организации через присоединенную сеть, другому лицу (субабоненту) только с согласия энергоснабжающей организации. Таким образом, в ГК передача энергии от абонента к субабоненту сформулирована как право, а не обязанность, абонента». Это означает, что «последний может отказаться от передачи энергии, и на практике зачастую так и поступает, мотивируя это тем, что данная деятельность не является для него основой и не носит публичного характера».

Следует отметить, что проблема квалификации договорных отношений между абонентом и субабонентом не решена и с принятием Федерального закона от 26 марта 2003 года № 35-ФЗ «Об электроэнергетике», подвергшего коренному изменению правоотношения в рассматриваемой области.

Анализ указанных изменений свидетельствует о стремлении законодателя уйти от привычных терминов (энергоснабжающая организация, абонент, субабонент), соответственно отказавшись от принципа разграничения субъектов рассматриваемых отношений в зависимости от последовательности расположения (присоединения) энергетических объектов в цепочке прохождения электрической энергии. Между тем, изменение терминологии само по себе не является решением проблем, возникающих у Субабонентов и Абонентов. Например, нет возможности однозначно решить, какой тип договора должен быть заключен между Субабонентом и Абонентом с учетом того, что Абонент не является энергоснабжающей сбытовой организацией и может не отвечать признакам территориальной сетевой организации.

На практике эта проблема приводит к росту случаев несанкционированного подключения к сетям абонента, отсутствию договорных отношений и увеличению доли потерь.

Следует отметить, что вопросы неурегулированных договорных отношений ярко прослеживаются в отрасли ЖКХ, так например Постановление Правительства РФ № 530 возлагает на исполнителей коммунальных услуг ответственность по оплате за домовые нужды и потери в доме, однако по по-

ложениям Постановления № 37 данные суммы должны быть включены в тариф для населения. Множество нюансов в сфере потребителей-граждан по вопросам безучетного потребления, так как абоненту, на сегодня, часто выгодней платить по нормативу, чем устанавливать прибор учета и производить расчеты по фактическому потреблению.

Отмечая недочеты в законодательном регулировании энергоснабжения и сопряженные с этим серьезные отрицательные последствия для всей страны, следует обратить внимание на необходимость комплексного решения данной проблемы посредством изменения (дополнения) действующих норм ГК РФ о договоре энергоснабжения, унификации соответствующей нормативной базы, а также минимизации регулирования энергоснабжения подзаконными актами.

Разумеется, предлагаемые меры нельзя рассматривать в качестве панацеи от всех бед. Не приходится рассчитывать и на то, что можно сразу найти исчерпывающие ответы на все «проблемные» вопросы. Вместе с тем, думается, что корректировка нынешнего положения дел позволит решить немало проблем, существующих сегодня в сложном и противоречивом правовом поле. Все это с учетом высокой социальной значимости энергоснабжения вызывает к жизни необходимость осмысления и тщательного анализа спорных моментов в правовом регулировании данных правоотношений с целью разрешения и последующего устранения противоречий, препятствующих принятию обоснованных решений. На нынешнем этапе важно привлечь внимание общества и специалистов к кругу обозначенных проблем и выработать пути обеспечения позитивных сдвигов в правовом регулировании энергоснабжения.

УДК 621.311

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ

Лопашов В.О.

*ОАО «Кузбассэнергосбыт»
г. Новокузнецк*

Начало реформирования электроэнергетики России связано с назначением на должность председателя правления РАО «ЕЭС России» А. Чубайса в 1998 г. Им был продекларирован курс на рыночные изменения в отрасли, были провозглашены цели и задачи реформы в электроэнергетике. Основная цель реформирования электроэнергетики России – повышение эффективности предприятий отрасли, создание условий для ее развития на основе стимулирования инвестиций, обеспечение надежного и бесперебойного энергоснабжения потребителей. В связи с этим в электроэнергетике России проис-

ходят радикальные изменения: меняется система государственного регулирования отрасли, формируется конкурентный рынок электроэнергии, создаются новые компании. Но главной и основной задачей реформы является снижение энергоемкости экономики России в целом, и каждого хозяйствующего субъекта в отдельности.

Общеизвестно, что экономическая эффективность любого предприятия, зависит от его конкурентоспособности в своей сфере деятельности. В свою очередь, конкурентоспособность зависит от нескольких основных факторов и показателей, характерных для каждой отрасли. Одним из таких показателей эффективности для промышленных предприятий является энергоемкость выпускаемой продукции, или величина затрат на электро- и теплоэнергию в общей структуре себестоимости товара. Поэтому при переходе электроэнергетики из регулируемого в рыночный сектор экономики, перед промышленными предприятиями встает проблема выбора и организации наиболее эффективного способа электроснабжения.

В сегодняшних условиях и при нынешнем уровне развития технологии субъекты экономики имеют широкие возможности по организации своего электроснабжения, и их выбор зависит от многих факторов: сферы производства, масштабов выпуска продукции, географического положения, условий окружающей среды, законодательства в области энергетики и т.д. Большинство из этих факторов достаточно изучено. В данной статье обращается внимание на основные факторы, возникшие в ходе реформирования электроэнергетики.

Как в любом виде человеческой деятельности, успех в организации эффективного электроснабжения зависит *в первую очередь* от людей, которые его осуществляют. То есть первоочередным является человеческий фактор. Поэтому в условиях реформирования какой-либо из отраслей, когда меняются основополагающие механизмы ее функционирования, необходимо обучить специалистов, научить их «новым правилам игры». А в такой всеобъемлющей отрасли, как электроэнергетика, которая сегодня, за сто с небольшим лет своего развития, уже присутствует в любой сфере человеческой деятельности, обучение специалистов должно быть поставлено на поток. То есть в учебных заведениях должны вводиться специальные курсы, даже отдельные специальности, где энергетиков должны обучать особенностям функционирования рынков электроэнергии и мощности. В обучении и трудоустройстве таких специалистов особенно должны быть заинтересованы крупные электропотребители, предприятия с высокоэнергоемкой продукцией, так как наличие квалифицированных кадров поможет им существенно снизить себестоимость продукции. Здесь министерству образования и учебным заведениям профессионального образования предлагается подумать о введении таких курсов в свои программы обучения.

Вторым немаловажным *аспектом*, который влияет на стоимость электроэнергии для конкретного предприятия, является выбор рынка, на котором оно планирует приобретать электроэнергию. Как известно, в ходе реформи-

рования электроэнергетики образовалось два рынка электроэнергии: оптовый и розничный. Основное различие между ними, как видно из названия, заключается в объемах поставки электроэнергии от производителя (поставщика) потребителю (покупателю), а соответственно и цены на нее. Вопрос выбора рынка актуален только для крупных потребителей, так как существуют законодательные барьеры для выхода на оптовый рынок электроэнергии и мощности.

Для получения статуса субъекта оптового рынка, претендент обязан соответствовать ряду требований:

– Суммарная присоединенная мощность должна превышать 20 МВА, и в каждой точке присоединения не менее 750 кВА;

– Обеспечение сбора, переработки и передачи информации коммерческого учета электроэнергии;

– Обеспечение системы связи, передающей информацию системному оператору;

– Иметь договор на оказание услуг по передаче электроэнергии.

Если промышленное предприятие соответствует данным требованиям и становится субъектом оптового рынка электроэнергии, то на него начинают действовать два противоположных экономических эффекта:

1) Снижение издержек в связи с более дешевой ценой электроэнергии на оптовом рынке (отсутствие сбытовых надбавок), а также возможности выбора поставщика электроэнергии (сокращение транспортных затрат).

2) Увеличение издержек в связи с дополнительными затратами на специализированные структуры в системе управления электроснабжением предприятия (наём, обучение и оплата труда специалистов, дополнительные основные фонды и т.д.), дополнительные издержки в связи с получением статуса участника оптового рынка.

Поэтому задача выбора рынка, на котором будет приобретаться электроэнергия, для каждого предприятия индивидуальна, и зависит от многих факторов. В целях снижения общей энергоёмкости национальной экономики и повышения конкурентоспособности отечественных предприятий, необходимо разработать методику оценки выбора рынка, обеспечивающую наибольшую эффективность. Эта задача уже стоит перед научно-исследовательскими институтами.

Следующим шагом на пути обеспечения эффективного энергопотребления является анализ выбранного рынка электроэнергии, выбор тарифа, а также составление графика наиболее эффективного энергопотребления. Действия на данном этапе, как и на предыдущих, различны для каждого предприятия и определяются множеством факторов, например, ритмичностью, продолжительностью производства и технологического процесса, ценами электроэнергии и мощности на данном рынке и т.д. С переходом к рыночному ценообразованию в сфере электроэнергетики планируется постепенный переход к свободным, рыночным ценам и отказ от тарифов (кроме населения). Поэтому в различные промежутки времени, в зависимости от соотно-

шения спроса и предложения на электроэнергию, цена может значительно различаться. А для потребителей с установленной мощностью более 750 кВА цена электроэнергии за каждый час суток различна, и рассчитывается специализированной коммерческой структурой – ЗАО «Центр финансовых расчетов». Поэтому, проанализировав динамику цен на данном рынке, можно распределить электрические нагрузки по времени наиболее оптимальным образом, тем самым обеспечить наименьшую стоимость электроэнергии. Для такого анализа также необходимы высококвалифицированные специалисты.

Наиболее универсальным методом снижения энергоемкости, подходящим для всех электропотребителей без исключения, и применяемым практически в любых условиях, является использование современных, энергоэффективных технологий и процессов. Данный факт очевиден уже из определения энергоэффективности. Программы по внедрению таких технологий разработаны и приняты во всех развитых странах. Правительством России с 2010 года планируется внедрение такой программы законодательно. Каждое промышленное предприятие, стремящееся к экономической выгоде, должно внедрять и использовать наиболее передовые, энергоэффективные технологии, процессы производства, обучать сотрудников эффективному использованию электроэнергии.

Данные решения, применяемые комплексно, проводимые высококлассными специалистами, обязательно позволят повысить конкурентоспособность и прибыль как предприятия в отдельности, так и всей национальной экономики в целом, а также улучшить качество жизни каждого человека.

УДК 628.1/2:669.1

ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ИНТЕГРАЦИИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ТЭЦ И ОАО «ЗСМК»

ТУРАЕВ Д.В.

*Западно-Сибирская ТЭЦ – филиал ОАО «ЗСМК»
г. Новокузнецк*

История и основные моменты

При строительстве ОАО «ЗСМК» параллельно велось строительство ТЭЦ, которая должна была обеспечивать комбинат теплом и электроэнергией. 1 сентября 1963 года было принято решение о передаче ТЭЦ ЗСМК в ведомство Минэнерго в РЭУ «Кузбассэнерго», после чего она стала именоваться Западно-Сибирской ТЭЦ. История развития показала, что этот шаг для ЗСМК был большой ошибкой, его последствия особо остро проявились во времена рыночной экономики.

Западно-Сибирская ТЭЦ расположена в г. Новокузнецке Кемеровской области на юго-востоке Западно-Сибирского региона. В непосредственной близости от ЗС ТЭЦ в Южном энергоузле расположены крупнейшие энерго-

емкие производства региона: ОАО «ЗСМК», ОАО «НКМК», ОАО «РУСАЛ Новокузнецк», ОАО «Кузнецкий завод ферросплавов» (рисунок 1). Эти производства обеспечивают высокий и стабильный спрос на электроэнергию и мощность при сравнительно низких сезонных колебаниях.

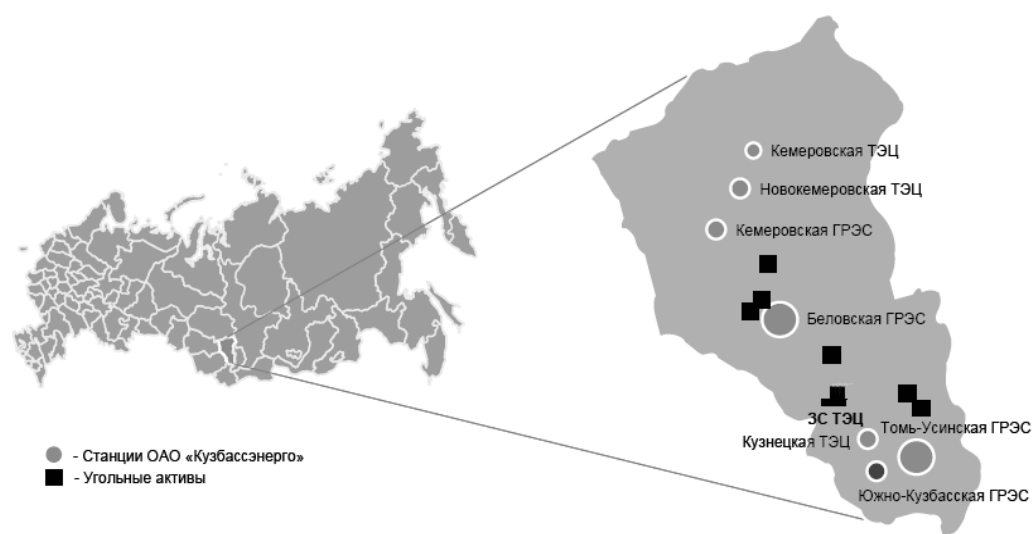


Рисунок 1 – Расположение генерирующих систем в Кузбассе

В свою очередь около 20 % вырабатываемой электроэнергии Западно-Сибирской ТЭЦ, передаваемой по генераторному напряжению 10,5 кВ, приходится на энергопотребление ОАО «ЗСМК».

Особенностью Южного энергоузла является наличие сетевых ограничений на передачу электроэнергии от других поставщиков ОЭС Сибири. Также необходимо отметить достаточно низкую топливную составляющую производства электроэнергии (ценообразующий фактор на конкурентных секторах оптового рынка электроэнергии), которая за 9 месяцев 2009 года оказалась ниже средней цены ОРЭМ на 15 %.

Основными потребителями тепловой энергии Западно-Сибирской ТЭЦ являются ОАО «ЗСМК» и его субабоненты (41 % от общей выработки) и жилищные массивы Заводского и Новоильинского районов г. Новокузнецка в лице ОАО «Кузбассэнерго» (59 %). При этом необходимо учесть, что других источников снабжения теплом данных потребителей не имеется, а ТЭЦ в свою очередь является одним из наиболее эффективных производителей тепловой энергии в регионе.

Предпосылки

Черная металлургия – одна из самых энергоемких отраслей современной промышленности.

В рамках общей реформы РАО «ЕЭС России» и политики энергосбережения ООО «ЕвразХолдинг» было принято решение о приобретении контрольного пакета акций Западно-Сибирской ТЭЦ. С последующей интегра-

цией с ОАО «ЗСМК».

Основные критерии оценки эффективности интеграции Западно-Сибирской ТЭЦ и ОАО «ЗСМК»

Электроэнергия:

До 31 декабря 2008 года Западно-Сибирская ТЭЦ являлась субъектом Оптового рынка электроэнергии и мощности, где осуществлялась реализация всей вырабатываемой электроэнергии (рисунок 2).

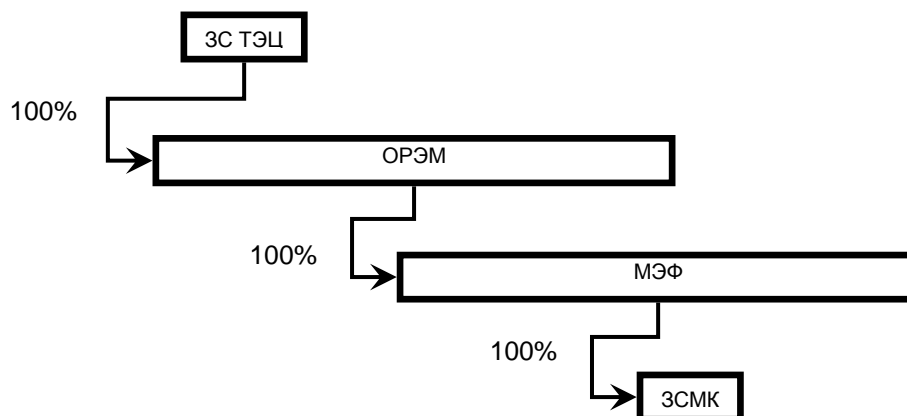


Рисунок 2 – Технологическая схема бизнес-процесса до 31 декабря 2008 года

ОАО «ЗСМК» покупало электроэнергию у гарантирующего поставщика ООО «МЭФ» на розничном рынке.

С 1 января 2009 года Западно-Сибирская ТЭЦ реорганизовалась в виде присоединения к ОАО «ЗСМК». Станция приобрела статус блок-станции и вошла в состав группы точек поставки на оптовом рынке ООО «МЭФ», образовав «потребителя с регулируемой нагрузкой» (рисунок 3).

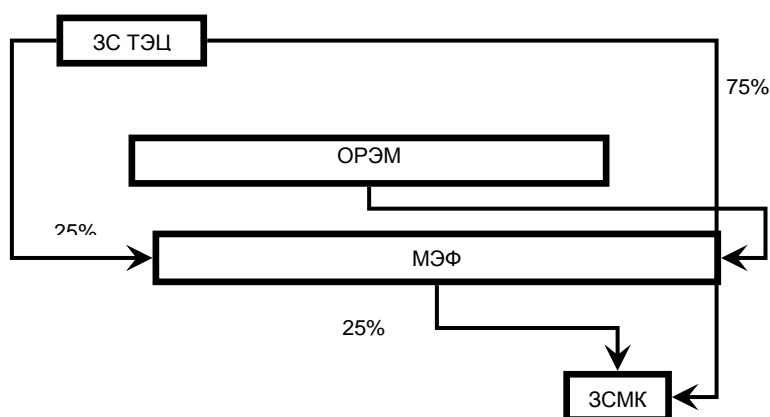


Рисунок 3 – Технологическая схема бизнес-процесса после 1 января 2009 года

Проведенная реорганизация обеспечила возможность уменьшить объем закупаемой электроэнергии со стороны на 73 %, что позволило сократить объем затраченных финансов на электроэнергию по комбинату на 13,4 %.

Тепловая энергия:

До 31 декабря 2008 года Западно-Сибирская ТЭЦ реализовывала тепловую энергию ОАО «ЗСМК» и жилищному массиву Заводского и Новоильинского районов в лице ОАО «Кузбассэнерго» по тарифам, установленным Региональной энергетической комиссией (РЭК) Кемеровской области (рисунок 4).

С 1 января 2009 года ОАО «ЗСМК» получает тепловую энергию ЗС ТЭЦ по себестоимости. Оставшийся объем реализует по тарифам РЭК (рисунок 5).

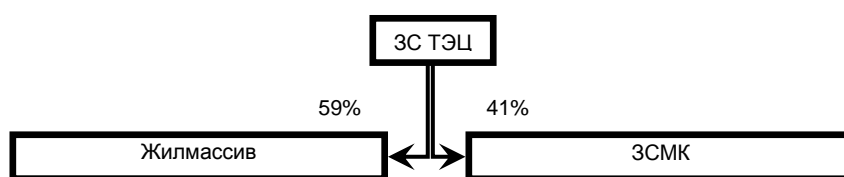


Рисунок 4 – Технологическая схема бизнес-процесса до 31 декабря 2008 года

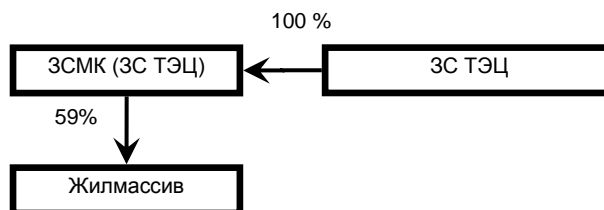


Рисунок 5 – Технологическая схема бизнес-процесса после 1 января 2009 г.

Благодаря проведенной реорганизации представилась возможность сократить финансовые затраты на тепловую энергию на 30 %.

Выводы:

Благодаря правильно выбранной стратегии по приобретению собственных генерирующих мощностей стало возможным:

1. Снизить финансовые затраты на тепловую и электрическую энергию на 15,2 % в год. По мере либерализации оптового рынка электроэнергии, ввиду формирования тарифов на полностью конкурентной основе эффективность будет увеличиваться.

2. Снизить последствия энергетического дефицита мощностей в ОЭС Сибири, особенно усиленного аварией на Саяно-Шушенской ГЭС.

3. Повысить конкурентоспособность продукции, выпускаемой ОАО «ЗСМК», тем самым снизить влияние мирового финансового кризиса.

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В КАБЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

ТИМОФЕЕВ А.С.

*Сибирский государственный индустриальный университет
г. Новокузнецк*

Современное оснащение угольных шахт высокопроизводительным и энергоемким оборудованием, в том числе и частотным приводом, обостряет проблему обеспечения качественной электроэнергией.

Проблема некачественной электроэнергии в системах электроснабжения угольных шахт сопровождается отрицательными последствиями как электротехнического так и технологического характера [4, 10]:

- увеличение потерь активной и реактивной мощности во всех элементах электрической сети;
- перегрев вращающихся машин, ускоренное старение изоляции, сокращение срока службы и выход из строя электрооборудования;
- рост потребления электроэнергии и требуемой мощности электрооборудования;
- нарушение работы и ложное срабатывание устройств релейной защиты и автоматизации;
- повышенная вероятность возникновения коротких замыканий из-за ускоренного старения изоляции машин и кабелей;
- существенные проблемы учета электроэнергии.

Исключение этих негативных последствий возможно только при постоянном мониторинге наиболее значимых характеристик электроэнергии и обеспечение этого качества в системах электроснабжения в пределах установленных норм и правил включающих в себя [5].

Одной из наиболее важных проблем качественного обеспечения потребителя электрической энергией это его электромагнитная совместимость с источником энергии и кабельной линии в системах электроснабжения [8]. Определяется это нелинейными и несимметричными характеристиками энергоемких потребителей, снижающие качество электрической сети в точке общего присоединения систем электроснабжения. Это является одной из существенных проблем в долевом вкладе каждого из них в общее искажение напряжения электрической сети [11].

В таблице 1 представлен анализ проблем, возникающих при выборе критерия оценки долевого вклада потребителя для реализации соответствующего алгоритма его расчета [1, 2, 3, 6, 7, 8].

Таблица 1 – Методы определения фактического вклада и их характеристики

Метод	Достоинства	Недостатки
Метод включения-отключения потребителей	Достоверность метода на момент измерения. Метод вполне применим для присоединяемого потребителя.	Необходимость длительного отключения потребителя, что далеко не всегда возможно. Требуется соблюдение определенных трудно контролируемых условий измерения. Кроме того, он базируется на эпизодических экспериментальных данных, которые экстраполируются на последующий длительный период работы энергосистемы.
Метод построения зависимости ПКЭ $\approx f(S_{нагр})$	Определение фактического вклада основано на длительных измерениях, которые дают более достоверную оценку.	Направленность метода на отдельного потребителя. Метод применим только, когда другие источники в СЭС не оказывают значительного влияния на КЭ.
Метод баланса мощностей (токов) в узле СЭС.	Метод позволяет определить наличие искажающих ЭП.	Метод не учитывает, что ток, протекающий в ветви, связывающей ЭСО и потребителя, является результатом взаимодействия источников искажения системы в целом, а не только расположенных в одной из подсистем. Следовательно по знаку и значению вторичной мощности, можно судить о наличии искажающих ЭП, но не о степени влияния на ПКЭ в данной точке.
Метод эквивалентных источников тока	Метод основан на измерении трех фазных токов в цепи питания потребителя ($i_{ат}$, $i_{вт}$, $i_{ст}$) и трех междуфазных напряжений в ТОП ($u_{абт}$, $u_{вст}$, $u_{сат}$), что соответствует современной базе измерительных приборов контроля качества электроэнергии. Измеренные токи и напряжения позволяют вычислить фактические вклады потребителя ($U_{фвп}$) и системы ($U_{фвс}$) по всем гармоническим и симметричным составляющим напряжения искажения. При этом в самом благоприятном случае достаточно выполнить три измерения. Помимо того, что могут быть определены фактические вклады по всем гармоническим и симметричным составляющим напряжения искажения U_T , эти вклады определяются в векторном (ком-	В предлагаемой методике негласно принято предположение, что в пределах интервала измерения происходит изменение либо тока искажения со стороны электрической системы I_C , либо со стороны искажающего потребителя $I_{п}$. Но система «СЭС - потребитель» представляет собой интегрированную и неразрывную систему, где искажающий потребитель не может рассматриваться абсолютно отдельно от источника энергии и наоборот. Это значит, что, скорее всего, когда происходит изменение гармонического тока со стороны нелинейной нагрузки, то одновременно с этим происходят какие-то изменения тока гармоники и со

	плексном) виде.	стороны СЭС.
--	-----------------	--------------

Продолжение таблицы 1

Метод	Достоинства	Недостатки
Метод эквивалентных источников тока с использованием дополнительного коммутируемого элемента	Батареи конденсаторов являются распространенным элементом СЭС и могут быть использованы для измерения сопротивлений. Проводимость батарей конденсаторов увеличивается пропорционально частоте гармонической составляющей и поэтому на высших гармонических составляющих изменение токов потребителя и СЭС после включения батарей существенно, что уменьшает погрешность в определении сопротивлений. Для измерений могут быть использованы переходные процессы после включения батарей, когда изменение токов и напряжения особенно существенны.	Недостатки предложенного способа измерений следующие: сложно проводить измерения параметров обратной последовательности каждый раз, когда необходимо определить ФВП в искажение напряжения в ТОП. К тому же необходимо знать время суток, в которое искажающий потребитель вносит наибольший вклад, и иметь в наличии специализированные средства измерений (для одновременного измерения токов до и после батарей конденсаторов в приборе контроля качества электрической энергии должно быть шесть токовых каналов, в то время как в большинстве приборов имеется только три).

Предлагается критерий оценки долевого вклада потребителя, который основан на применении алгоритма расчета цепей (рисунок 1) с распределенными параметрами, заключается в представлении напряжения на нагрузке в виде суммы прямой и обратной волн на каждой гармонике сети который состоит:

- 1 Формирование исходных базы данных:
 - а) Определение первичных параметров кабельной линии,
 - б) Определение вторичных параметров кабельной линии,
 - в) По найденным данным определить в кабельной линии напряжение и ток на нагрузке для прямой и обратной волны.

2 Определение гармонических составляющих:

Используя методы преобразования Фурье находим действующее значение всех гармонических составляющих напряжения и тока на нагрузке для прямой и обратной волны.

3 Алгоритм оценки фактического вклада потребителя

Выражения для трехфазной сети справедливо следующее соотношение [9]:

$$\xi_i^{(\hat{e})} = \frac{\underline{D}_{i \hat{a}\delta}^{(\hat{e})}}{\underline{D}_{i \hat{i}\delta}^{(\hat{e})} + \underline{D}_{i \hat{a}\delta}^{(\hat{e})}} = \frac{\sum_{j=1}^3 \underline{D}_{j\hat{a}\delta}^{(\hat{e})}}{\sum_{j=1}^3 \underline{D}_{j\hat{i}\delta}^{(\hat{e})} + \sum_{j=1}^3 \underline{D}_{j\hat{a}\delta}^{(\hat{e})}},$$

где $\underline{D}_{j1 \dots \delta}^{(\hat{\epsilon})}$ и $\underline{D}_{j1 \dots \delta}^{(\hat{\epsilon})}$ – мощности прямой и обратной волн в канале j (где $j = 1 - 3$).

Число $\xi_1^{(\hat{\epsilon})}$ в зависимости от отношения $\underline{D}_{1 \dots \delta}^{(\hat{\epsilon})} / \underline{D}_{1 \dots \delta}^{(\hat{\epsilon})}$, изменяется в пределах от 0 до 1. Для $\xi_M^{(k)} = \xi^{(k)} > 0,5$ – нагрузка является источником искажения; $\xi_M^{(k)} = \xi^{(k)} < 0,5$ – нагрузка улучшает КЭ; $\xi_M^{(k)} = \xi^{(k)} = 0,5$ – нагрузка не ухудшает КЭ.

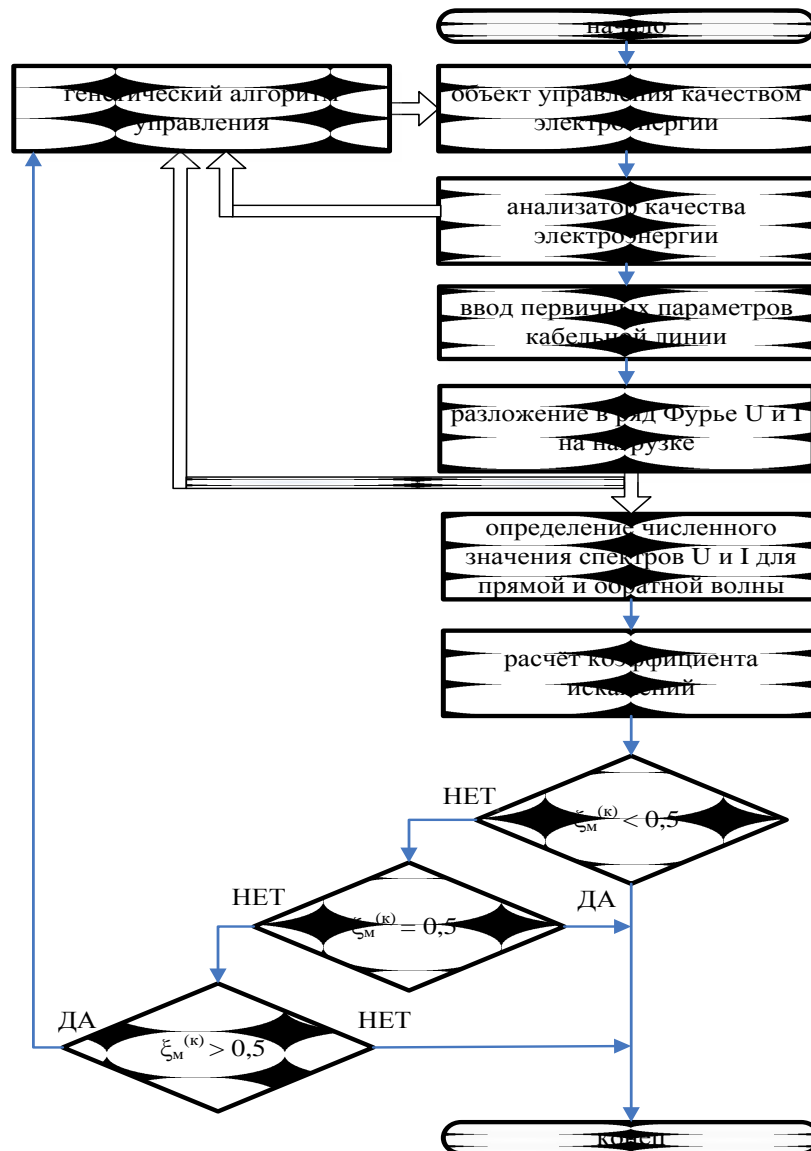


Рисунок 1 – Алгоритм определения и управления фактическим вкладом потребителей в искажение параметров качества электрической энергии

Данный алгоритм обеспечивает в режиме реального времени действительный вклад потребителей в искажение качества электрической энергии по n -ой гармонической составляющей и его оптимальное управление по много-

вариантному алгоритму.

Электрические сети для передачи и распределения электрической энергии в настоящее время и в ближайшем будущем будут оставаться проблемными. Так как качество электроэнергии в значительной степени связано с процессами ее передачи и распределения и является критическим параметром для современного электропривода.

Постоянное развитие и совершенствование электрических сетей предъявляют новые требования к надежности, защищенности и в особенности к качеству управления энергопотоками, для удовлетворения этих требований в XXI веке появляются современные на базе нанотехнологий технические средства реализации.

Библиографический список

1. Гамазин С.И., Петрович В.А., Никифорова В.Н. Определение фактического вклада потребителя в искажение параметров качества электрической энергии // Промышленная энергетика. – 2003. – № 1.
2. Гамазин С.И., Петрович В.А. К вопросу об определении фактического вклада потребителя в искажение параметров качества электрической энергии // Электрика. – 2000. – № 7.
3. Зыкин Ф.А. Определение степени участия нагрузок в снижении качества электроэнергии // Электричество. – 1992. – № 11.
4. Зыкин Ф.А. Энергетические процессы в системах электроснабжения с нагрузками, ухудшающими качество электроэнергии // Электричество. – 1987. – № 12.
5. Карташев И.И., Пономаренко И.С., Сыромятников С.Ю., Гук Л.Л. Способ инструментального выявления источников искажения напряжения и определение их влияния на качество электроэнергии // Электричество. – 2001. – № 3.
6. Майер В.Я., Зения, Ткач А.Н. Методика определения долевых вкладов электропотребителя и энергоснабжающей организации в снижение качества электроэнергии при несимметрии напряжений и токов // Известия вузов. – 1991. – № 1.
7. Правила присоединения потребителя к сети общего назначения по условиям влияния на качество электрической энергии. – Москва, 1991.
8. Соколов В.С. Идентификация источников искажения качества энергии электрических сетей // Технологии электромагнитной совместимости. – 2003. – № 1.
9. Геворян В.М., Казанцев Ю.А., Михалин С.Н. К вопросу фактического вклада субъектов электрических сетей в искажение качества электрической энергии // Промышленная энергетика. – 2007. – № 5.
10. Старцев А.П. Проблемы качества электроэнергии. Обзор документов // Технологии электромагнитной совместимости. – 2003. – №1.
11. Ферреро А. Измерения при несинусоидальных сигналах: новые подходы к старой проблеме науки и техники измерений // Приборы и системы

- управления. – 1999. – № 10.
12. Управление качеством электроэнергии. / И.И. Карташов [и др.]. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 320 с.; ил.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ	3
Протопопов Е.В., Комшуков В.П., Ганзер Л.А., Фойгт Д.Б. Перспективные технологии повышения качества металлопродукции	3
Мохов Г.В., Мухатдинов Н.Х., Александров И.В., Козырев Н.А., Корнева Л.В. Основные направления развития производства рельсов	10
Галевский Г.В., Минцис М.Я. Пути модернизации технологического оборудования алюминиевых заводов России	13
Левкина О.М. Проблемы корпоративного обучения персонала предприятий в период кризиса.....	18
Островляничик В.Ю., Дужий А.В., Кубарев В.А., Модзелевский Д.Е. Автоматизированная система управления и мониторинга электроприводов горно-металлургического производства	21
Руднева В.В., Галевский Г.В. Инновационные технологии производства и применения нанокарбида кремния.....	25
Павлович Л.Б., Медведская О.О. Проблемы очистки газообразных выбросов металлургического производства	30
Хамонтова Н.В., Петров Е.В. Управление персоналом, попавшим в зону риска высвобождения.....	35
СЕКЦИОННЫЕ ДОКЛАДЫ	38
Бондарь Н.Ф., Кулаков С.М., Голубева Д.В. О совершенствовании алгоритма управления машиной выдачи заготовок из нагревательной печи	38
Гапоненко А.Ю. Исследования работы автоматической системы регулирования возбуждения синхронного генератора в режимах повышенных нагрузок	43
Генералов А.А. Методика ограничения бросков тока при включении печного трансформатора установки «Печь-ковш».....	50

Перепелицын В.П., Кипервассер М.В.	
Электропривод главного подъема с короткозамкнутым асинхронным двигателем	54
Борщинский М.Ю., Куниин П.Н.	
Алгоритм управления системы с переключаемыми контурами	58
Кипервассер М.В., Инжелевская О.В.	
Методика автоматического распознавания аварийных ситуаций механического оборудования с электроприводом постоянного тока	64
Перепелицын В.П., Кипервассер М.В.	
ТПЧ-АД в автономных системах	67
Кулаков С.М., Трофимов В.Б.	
О построении интеллектуальной системы контроля качества поверхности рельсового проката.....	72
Цымбал В.П.	
Об управлении синергетическими объектами	78
Веревкин В.И., Белоусов П.Г., Быстров В.А.	
Исследование устойчивости системы управления процессом электрошлакового литья.....	88
Веревкин В.И., Брагин В.М., Медведев В.С.	
Корректировка температуры стали в ковше в системе управления верхнего уровня установки «Печь-ковш».....	94
Веревкин В.И., Брагин В.М., Кравцов Н.А.	
Синтез рациональной программы управления процессом электрошлаковой наплавки	102
Евтушенко В.Ф., Кравцова О.А., Криволапова Л.И.	
Алгоритм экстраполяции нестационарных последовательностей данных с использованием коэффициента сложности	110
Измайлова Е.И.	
Эффективность компьютерно-интегрированных производственных систем	116
Карташов В.Я., Полякова О.Р.	
Интервальные измерения в системах мониторинга	123
Карташов В.Я., Махарева О.А., Сахнин Д.Ю.	
Особенности многочастотного квантования в системах автоматизации	126
Полетаев В.А.	
Графическая модель автоматизированного производственного цикла создания изделия машиностроения.....	128

Сахнин Д.Ю., Сахнина М.А. Влияние разрядности АЦП на точность моделей технологических процессов	136
Сыркин И.С., Полетаев В.А. Моделирование и нейро-нечеткое управление процессом электроэрозионной обработки	141
Галевский Г.В., Кондратенко В.С. Определение выхода металла по току при электролизе криолито-глиноземного расплава.....	151
Галевский Г.В., Руднева В.В., Шефер П.Ю. Определение температуры расплава при выплавке ферромолибдена расчетным методом.....	156
Гизатулин Р.А., Нохрина О.И. Внепечная обработка – основа современной качественной металлургии	159
Нохрина О.И., Прошунин И.Е., Рожихина И.Д. Переработка отходов ферросплавного производства	163
Голодова М.А., Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Дмитриенко В.И. Термодинамический анализ восстановления ванадия из оксидных ванадийсодержащих материалов.....	167
Нохрина О.И., Дмитриенко В.И., Рожихина И.Д., Голодова М.А., Гизатулин Р.А. Применение ванадийсодержащего шлака для легирования углеродистой стали ванадием	175
Лебошкин Б.М., Обухов Г.В., Тяпков М.А., Рудаева П.Б., Проскурин В.П. Совершенствование технологии механической очистки катанки при волочении проволоки	177
Лубяная С.В., Лубяной Д.А., Котова Е.В. Инновационные технологии в обучении студентов.....	182
Лубяной Д.А., Соколов В.В., Макшаев А.А., Плотников А.В., Лубяной Д.Д. Опробование фурм для продувки аргоном в конвертерном цехе № 1 ОАО «ЗСМК»	183
Афанасьев В.К., Семенов А.В., Джемела П.В., Лейманн Е.С. Влияние химико-термической обработки на линейное расширение серого чугуна СЧ 20	185

Осколкова Т.Н., Будовских Е.А. Электровзрывной инновационный способ упрочнения твёрдосплавного карбидовольфрамового инструмента.....	189
Попова М.В., Кривичева Н.В. Влияние модифицирования сульфидом меди на микроструктуру сплава Al-11%Si.....	191
Деев В.Б., Селянин И.Ф., Цецорина С.А., Архипова Е.С., Слободчиков А.В. Исследование влияния термовременной обработки и магнитного поля на механические свойства и жидкотекучесть сплава АК7Ч.....	195
Селянин И.Ф., Прохоренко А.В., Филинберг И.Н. Методы определения технологических параметров твёрдого топлива	199
Мохов Г.В., Александров И.В., Козырев Н.А., Корнева Л.В., Атконова О.П. Производство суперперлитных рельсов	201
Мохов Г.В., Козырев Н.А., Кузнецов Е.П., Атконова О.П., Закаулов Е.Г. Производство мелющих шаров особо высокой твердости.....	204
Ефимов О.Ю., Чинокалов В.Я., Сидорова О.Д., Громов В.Е., Коновалов С.В. Роль водорода в формировании структуры и свойств арматуры.....	208
Самойлова Ю.О., Чичкова А.Е. Металлургические дефекты в отливках из высокопрочного чугуна....	211
Мохов Г.В., Мухатдинов Н.Х., Козырев Н.А., Корнева Л.В., Бойков Д.В., Захарова Т.П., Прокопьева Т.В., Тиммерман Н.Н., Атконова О.П. Разработка технологии производства сортового проката из подшипниковой стали.....	216
Мусатова А.И., Кулаков С.М., Кадыков В.Н. Обоснование нормативных коэффициентов использования прокатного оборудования.....	220
Носов Ю.Н., Мусохранов В.В. Влияние различных факторов на эффективность ввода кальция в металл.....	227
Носов Ю.Н., Мусохранов В.В. Влияние конвертерного шлака, попадающего в ковш на выпуске, на эффективность ковшевых процессов десульфурации и модифицирования	232

Носов Ю.Н., Мусохранов В.В.	
Продувка металла азотом в 350-т сталеразливочном ковше.....	236
Носов Ю.Н., Фойгт Д.Б., Сидорова И.Н.	
Освоение производства стали 20Ю с разливкой на сортовой МНЛЗ....	239
Почегуха В.В., Почегуха В.В.	
Особенности осадки и протяжки кузнечных слитков.....	244
Темлянец М.В., Матвеев М.В.	
К вопросу об эффективности применения внешней теплоизоляции при разогреве футеровок сталеразливочных ковшей.....	246
Тяпков М.А., Обухов Г.В.	
Совершенствование технологии высадки гвоздей ГОСТ 4028-63 из проволоки ГОСТ 3282-74, произведенной из механически очищенной катанки.....	248
Филиппова М.В., Перетяцько В.Н., Котлов Г.С., Бахаев А.В., Фёдоров А.А.	
Малоотходная технология штамповки осесимметричных поковок из шаровых заготовок.....	251
Шишова И.В., Локтеева Н.Г.	
Планирование почасового потребления электрической мощности на ОАО «ЗСМК».....	254
Игушев В.Ф., Вострецов Г.Н.	
Пути совершенствования составов покрытий электродов основного типа.....	257
Колмогоров Д.Е.	
Методика преподавания дисциплины «САПР в сварке».....	260
Вострецов Г.Н., Игушев В.Ф., Рябов В.Г.	
Формирование структуры и свойств наплавленной рабочей поверхности прокатных валков в процессе деформационного упрочнения.....	264
Зеленковский А.А.	
Наплавка под слоем флюса с использованием механизма импульсной подачи сварочной проволоки.....	269
Крампит А.Г., Крампит Н.Ю.	
Классификация сварки в щелевую разделку.....	273
Ильященко Д.П., Буцкевич А.А., Шадский С. В.	
Санитарно-гигиенические характеристики ручной дуговой сварки покрытыми электродами марки LB 52U с применением защитных покрытий.....	278

Ильященко Д.П., Зернин Е.А., Смолянин А.А.	
О влияние защитных покрытий при дуговой сварке плавлением на химический состав и механические свойства сварных соединений.....	281
Малушин Н.Н.	
Анализ термомеханических циклов плазменной наплавки на установках тепловой микроскопии	285
Малушин Н.Н.	
Совершенствование технологии изготовления сварных металлоконструкций	289
Павлов Н.В., Крюков А.В., Зеленковский А.А., Кузнецов М.А.	
Исследование температурных полей при сварке с импульсной подачей в смеси газов.....	293
Павлов Н.В., Крюков А.В., Зеленковский А.А., Кузнецов М.А.	
Определение стабильного диапазона регулирования параметров сварки с импульсной подачей электродной проволоки в смеси газов.....	295
Полторацкий Л.М., Рудаков С.Г., Пронякин А.Ю.	
Использование вторичных ресурсов при изготовлении электродов ...	298
Рудаков С.Г., Катунина А.С., Зеленко М.С.	
Измерение и управление свойствами материала сварных соединений	301
Рудаков С.Г., Катунина А.С., Зеленко М.С.	
Низкочастотная ультразвуковая обработка.....	305
Рудаков С.Г., Полторацкий Л.М., Катунина А.С., Зеленко М.С.	
Повышение эксплуатационных свойств конструкций из никелида титана.....	309
Сабиров И.Р., Зернин Е.А., Крюков А.В., Кузнецов М.А.	
Влияние покрытий на химический состав дуги.....	311
Соколов П.Д.	
Применение специальных износостойких плит (биметаллических) при ремонтах оборудования.....	315
Солодский С.А., Брунов О.Г. Зеленковский А.А.	
Автоматизированная система для сварки в CO_2 с импульсной подачей сварочной проволоки и модуляцией сварочного тока	317
Тюменцев И.Г., Егоров В.Ф., Полищук С.В., Тюменцев М.И.	
Особенности формирования первичной структуры металла сварного шва в условиях электромагнитного поля	321
Чинахов Д.А., Давыдов, А.А.	
Исследование распределения температурных полей при сварке плавлением.....	325

Галевский С.Г.	
Прогнозирование несостоятельности коммерческой организации	330
Валишевская Л.Г., Мусатова А.И.	
Использование методов управления по фазам жизненного цикла предприятия	334
Зайнутдинов Х.Ф.	
Оценка эффективности проектов совершенствования управления персоналом.....	337
Зайнутдинов Х.Ф., Бобко Т.В.	
Совершенствование и альтернатива планирования производственной программы.....	340
Медведская О.О., Павлович Л.Б.	
Экономические и экологические аспекты очистки выбросов металлургического производства глубоким каталитическим окислением	342
Петров Е.В., Муратов В.М.	
Реорганизация переподготовки персонала	346
Петров Е.В., Хамонтова Н.В.	
Управление персоналом в условиях кризиса	349
Фокин К.Б.	
Методический подход к расчету численности работников и кадрового резерва предприятия, необходимой для организации обучения.....	353
Фокин К.Б., Королева Ю.В., Новиков А.С., Рахмангулов Р.А.	
Проект содействия занятости «Первое рабочее место»: идеология и методика	357
Фокин К.Б., Чирькин А.С., Бондаренко Н.Е., Колобова О.Л.	
Технологии реализации программ стабилизации рынка труда в условиях кризисных явлений в экономике на примере промышленных предприятий	361
Пожидаев Ю.В., Ознобихина Н.В.	
Выбор оптимального числа интервалов гистограмм распределения случайных величин	366
Пушница Н.В.	
Устойчивое развитие и интегрированная система менеджмента	371
Пушница Н.В.	
Совершенствование системы менеджмента на основе лидерства.....	377
Карелов С.В., Барашев А.Р., Анисимова О.С., Берстенов М.О.	
Переработка кадмийсодержащих отходов с использованием комплексобразующего растворителя.....	381

Кузнецова Е.С., Свирская Г.С.	
Эффективность применения ламп в освещении	383
Калюс О.С., Овчинников Н.В.	
Организация и управление энергосберегательной деятельностью в региональном образовании	391
Стерлигов В.В.	
Стратегия муниципального энергосбережения	395
Стерлигов В.В., Овчинников Н.В.	
Теплотехническая оценка работы ограждений зданий при циклическом отоплении	398
Агеев А.В.	
Законодательное регулирование договорной деятельности в сфере электроснабжения потребителей	405
Лопашов В.О.	
Электроснабжение промышленных предприятий в условиях рынка электроэнергии и мощности	407
Тураев Д.В.	
Основные критерии оценки интеграции Западно-Сибирской ТЭЦ и ОАО «ЗСМК»	410
Тимофеев А.С.	
Алгоритм оценки и управления динамической устойчивости электрооборудования в кабельных сетях электроснабжения.....	414

