

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
Институт электросварки им. Е. О. Патона

На правах рукописи

Н Е У Й М И Н
Владимир Александрович

УДК 621.793.7

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОГО
НАПЫЛЕНИЯ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПЛУНЖЕРОВ
ПУЛЬПОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ НАСОСОВ ОТ
ГИДРОАБРАЗИВНОГО ИЗНОСА**

05.03.06 —

технология и оборудование для сварки и родственных
процессов

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев 1996

АВ 34.907

Работа выполнена в Институте электросварки им. Е.О.Патона
НАН Украины и Норильском горно-металлургическом комбинате,
Россия

Научный руководитель

доктор технических наук,
профессор Ю.С.Борисов

Официальные оппоненты

доктор технических наук,
профессор В.Н.Корж

кандидат технических наук
Д.И.Гнатенко

Ведущее предприятие

Украинский конструкторско-техно-
логический институт сварочного
производства

Направляем Вам для ознакомления автореферат диссертации ин-
женера Неуймина В.А. Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения
принять участие в заседании специализированного совета или прис-
лать свои отзывы (1 экз. заверенный печатью) по адресу: 252650,
Киев-5, ГСП, ул. Боженко, 11, ученому секретарю спецсовета.

Защита состоится 26 июня 1996 г. на заседании специализи-
рованного совета (К 50.02.02) при Институте электросварки им.
Е.О.Патона.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической биб-
лиотеке института.

Автореферат разослан 22 мая 1996 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
доктор технических наук

А.А.Бондарев

ЛННБ України ім.В.Стефаніка

В. Стефаніка

Україна



00754621 (P)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертационная работа посвящена разработке технологии плазменного напыления и термической обработки покрытий из порошков интерметаллидов и никелевых самофлюсующихся сплавов. Данные покрытия обладают повышенной стойкостью к гидроабразивному износу в присутствии агрессивных сред, что позволяет эффективно применять их для защиты деталей горнометаллургического оборудования.

Актуальность темы

Интенсификация технологических процессов, специфические условия эксплуатации шахтного и горнообогатительного оборудования при добыче и подготовке руд цветных металлов для металлургической переработки требуют повышения надежности и ресурса работы отдельных узлов и деталей. Так углубление шахтных добывающих горизонтов на Норильском горно-металлургическом комбинате привело к увеличению горного давления на крепёжное оборудование, повышению температуры и влажности окружающей среды. Использование новых хиреагентов при флотации руд цветных металлов привело к повышению коррозионной агрессивности применяемых растворов. Одним из важнейших компонентов Норильского горно-металлургического комплекса является система гидротранспорта рудных концентратов с обогатительных фабрик до металлургических заводов. От стабильности и надежности этой системы во многом зависит нормальный режим работы всего комплекса. Наиболее уязвимым местом является узел трения "сальник - плунжер" пульпоперекачивающих насосов, где сочетание высокой абразивности частиц концентрата с агрессивностью жидкой среды приводит к быстрому износу поверхности плунжера. Существующие методы упрочнения не обеспечивают достаточной износостойкости этого узла. Анализ современного состояния защиты поверхности таких крупногабаритных деталей от износа показал, что данная проблема может быть решена путем усовершенствования технологии плазменного напыления покрытий из никелевых сплавов и их последующей термообработки.

Целью работы является изучение закономерностей влияния условий плазменного напыления и термической обработки напыленных покрытий из никелевых сплавов на их структуру и стойкость к абразивному изнашиванию и разработке на основе полученных результатов технологии получения покрытий с повышенной стойкостью к гидроабразивному износу.

В диссертационной работе необходимо было решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ условий изнашивания узлов трения оборудования горно-металлургического производства, сформулировать на этой основе требования к покрытию и произвести выбор напыляемых материалов.
2. Исследовать влияние условий плазменного напыления на структуру и износостойкость покрытий.
3. Выполнить расчетно-теоретический анализ влияния частоты электрического поля на процесс оплавления покрытий с использованием ВЧ-метода.
4. Изучить особенности формирования структуры оплавленного слоя при различных методах термообработки (нагрев газовым пламенем, ВЧ-нагрев).
5. Провести сравнительные испытания стойкости к абразивному износу покрытий с напыленной и оплавленной структурой и определить условия их рационального применения.
6. Разработать промышленную технологию плазменного нанесения покрытий для защиты узлов трения пульсоперекачивающих насосов и осуществить ее практическое применение.

Автор защищает:

1. Теоретические и экспериментальные данные по влиянию частоты электрического поля на процесс оплавления покрытий из никелевых самофлюсующихся сплавов на стальной основе.
2. Экспериментальные данные по влиянию условий термической обработки (нагрев газовым пламенем, ВЧ-нагрев с различной частотой тока) на структуру и фазовый состав покрытий из никелевых самофлюсующихся сплавов.
3. Закономерности влияния структуры и условий термообработки покрытий из никелевых сплавов на их стойкость к абразивному износу.
4. Технологию плазменного напыления износостойких покрытий из интерметаллидных и самофлюсующихся никелевых сплавов для защиты деталей горно-металлургического производства.

Научная новизна работы

1. В результате расчетно-теоретического анализа температурных полей при высокочастотном нагреве двуслойного материала, состоящего из стальной основы и напыленного покрытия из никелевого сплава, впервые показано отличие характера движения зоны оплавления

ния от случая нагрева газовым пламенем и влияние на этот процесс частоты электрического поля. При ВЧ-нагреве зона плавления слоя из никелевого самофиксирующегося сплава движется от границы раздела "основа-покрытие" к поверхности, а при газопламенном методе, наоборот, от поверхности к границе раздела. Необходимое время разогрева слоя покрытия при газопламенном методе в 2-2,5 раза меньше, чем при ВЧ-нагреве. Повышение частоты при ВЧ-нагреве с 4 до 66 кГц снижает глубину зоны прогрева металла с 8 до 2 мм и в 1,2-1,3 раза сокращает время нагрева до температуры плавления покрытия /1050 °С/

2. Установлено, что в результате особенностей исследованных способов нагрева оплаваемого покрытия из сплава системы $Ni-Cr-B-Si$ формирующиеся структуры имеют разную морфологию и трибо-технические свойства. Так, протяженность зоны термического влияния в структуре основы составляет около 60 мкм при газопламенном методе. При ВЧ-нагреве - 100 мкм и 500 мкм (при частотах электрического поля 66 кГц и 4 кГц, соответственно). Аналогичным образом меняется ширина переходной зоны. При использовании частоты 66 кГц на границе раздела обнаружена зона с пониженной микротвердостью толщиной 200 мкм, которая способствует релаксации внутренних напряжений и снижению опасности образования трещин в покрытии.

3. В результате изучения стойкости к абразивному износу покрытий с различной структурой показано, что их сопротивление изнашиванию определяется дисперсностью твердых включений (карбидов, боридов, карбоборидов), глубиной диффузии железа основы в покрытие, величиной удельной поверхности раздела фаз. Установлено, что повышение частоты при ВЧ-нагреве с 4 до 66 кГц способствует измельчению упрочняющих фаз в покрытии со 100 до 20 мкм и повышению износостойкости таких покрытий в 1,5 раза.

Методы исследований. В работе использованы современные методы металлографии, рентгенструктурного и микрорентгеноспектрального анализа, методики определения пористости и прочности сцепления покрытий, предложена оригинальная методика определения абразивной износостойкости.

Практическая ценность и реализация результатов работы. На основе результатов выполненного комплекса расчетно-теоретических и экспериментальных работ рекомендованы методы и режимы оплавления напыленных покрытий из никелевых самофиксирующихся сплавов, обеспечивающие их максимальную износостойкость. На базе полученных данных об износостойкости напыленных интерметаллидных покры-

тий из никелевых самофлюсующихся сплавов определены рациональные области их применения. Разработана технология плазменного напыления покрытий, стойких к абразивному износу.

С целью промышленного применения разработанной технологии на Норильском ГМК создан участок плазменного напыления, где проведено практическое освоение процессов плазменного напыления износостойких покрытий. Их использование для защиты от износа деталей шахтного, обогатительного и транспортного оборудования, в том числе плунжеров пульпоперекачивающих насосов позволило увеличить ресурс работы деталей в 1,5-2,2 раза.

Апробация работ. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях "Ресурсосберегающие технологии сварки, наплавки и напыления в тяжелом машиностроении и отраслях агропрома" (Жданов, 1987 г.) "Металлургические машины и оборудование" (Норильск, 1991, 1992, 1994 г.г.; научно-практической конференции НТОНГМК (Норильск, 1990 г.).

Диссертационная работа в целом обсуждалась на технологическом семинаре ИЭС им. Е.О.Патона (1995 г.).

ПУБЛИКАЦИИ. По материалам диссертации опубликовано 6 работ и получено 1 авторское свидетельство на изобретение.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов по работе, описки литературы и приложения.

Изложена на 164 страницах, содержит 34 рисунка и 25 таблиц. Список литературы включает 144 наименования.

ВО ВВЕДЕНИИ обоснована актуальность выполнения работы, сформулированы цель и задачи исследований, научная новизна полученных результатов и их практическая ценность, положения, выносимые на защиту.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ дан анализ процесса абразивного изнашивания элементов горно-металлургического оборудования. Изложены современные представления о критериях выбора материала и структуры покрытий, стойких в условиях воздействия абразива. Проведен анализ существующего опыта разработки и применения различных способов нанесения износостойких покрытий. Обоснована целесообразность использования метода плазменного напыления и оплавленных покрытий из никелевых самофлюсующихся сплавов. Сформулированы цель и задачи исследования.

Во ВТОРОЙ ГЛАВЕ изложены методики исследования структуры и свойств покрытий, использованные в работе. Описана оригинальная установка и методика оценки абразивной стойкости покрытий в

условиях, приближенных к условиям работы пары трения "плунжер - сальник".

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ приведены результаты изучения условий механизма изнашивания рабочих поверхностей пары трения "плунжер-сальник". Проведен выбор материалов для нанесения покрытий, стойких к абразивному изнашиванию в данных условиях.

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ изложены результаты выбора рациональных режимов плазменного напыления никелевых сплавов интерметаллидного типа, исследования структуры и износостойкости интерметаллидных покрытий *ММ* и *МТ*.

В ПЯТОЙ ГЛАВЕ изложены результаты расчетно-теоретического анализа распространения тепловых потоков в системах "основа - покрытие из никелевого самофлюсующегося сплава" при нагреве газовым пламенем и токами высокой частоты. Описаны особенности термических циклов при газопламенном нагреве и нагреве ТВЧ различной частоты. Представлены данные анализа структуры оплавленных покрытий, полученных различными способами, ее влияния на стойкость покрытий к абразивному износу.

В ШЕСТОЙ ГЛАВЕ описана технология плазменного напыления покрытий для защиты горно-металлургического оборудования от абразивного изнашивания, созданная на основе полученных результатов теоретического анализа и экспериментальных исследований. Приведены результаты ее практического применения.

В ОСНОВНЫХ ВЫВОДАХ кратко сформулированы результаты работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ 4

Типичным видом износа деталей оборудования горно-металлургического производства является абразивный износ. В условиях эксплуатации плунжеров пульпоперекачивающих насосов абразивом является рудный концентрат и пустая порода с размером частиц 44-500 мкм и твердостью от 570 до 2000 НВ. Транспортирующая жидкость представляет собой раствор химреагентов в воде с колебаниями показателя кислотности (рН) от 9 до 4. В связи с этим абразивный износ в парах трения осложняется коррозионным воздействием жидкой среды. Исходя из вышесказанного, материал покрытия должен обладать износостойкостью в присутствии коррозионноактивной жидкости.

Другим требованием к покрытию, применяемому в данных условиях, является твердость и размер частиц упрочняющей фазы в структуре покрытия, которые должны быть связаны с размером и твердостью частиц абразива.

На основе проведенного анализа в качестве напыляемых материалов были выбраны порошки никелевых сплавов интерметаллидного типа систем $Ni-Al$ и $Ni-Ti$ (ПН85Ю15, ПН55Т45) и никелевого саморасплавляющегося сплава (ПР70Х17СР4).

Важным фактором износостойкости газотермических покрытий является внутренняя (когезионная) прочность слоя покрытия, которая может быть повышена путем оптимизации режимов плазменного напыления с обеспечением максимального проплавления напыляемых частиц и особенно существенно за счет проведения операции термообработки напыленного покрытия на стадии оплавления.

Выбор базовых параметров плазменного напыления был осуществлен с использованием следующего выражения для оценки минимально необходимой тепловой мощности плазматрона, работающего на чистом аргоне:

$$N_{\text{min}} \approx \frac{2,99 V_r^{0,5} \cdot d_p \cdot D^{0,5}}{R_0^{0,25} \cdot l_p^{0,4}}$$

где V_r - расход плазмообразующего газа, м³/с;

d_p - диаметр частиц материала, м;

D - параметр трудности плавления материала, 10^{10} кДж²/кг.м³;

R_0 - радиус сопла анода, м;

l_p - путь движения частицы в изотермическом участке среды, м.

Расчетным путем были определены величины параметра трудности плавления для интерметаллидов ПН85Ю15 и ПН55Т45, которые составили 1,418 и 1,443, соответственно.

Минимально необходимый уровень мощности плазматрона рассчитывался для максимального размера частиц в используемых фракциях порошка: 125 мкм - для ПН85Ю15, 45 и 100 мкм - для ПН55Т45. Результаты расчетной оценки приведены в табл. I.

В результате проведения серии экспериментов с изучением микроструктуры покрытий и определением их свойств (прочности сцепления, пористости и абразивной стойкости) параметры режима напыле-

Расчетные значения базовых параметров
плазменного напыления интерметаллидов ПН85Ю15 и ПН55Т45

Марка порошка, грануляция	Тепловая мощность, кВт	Электрическая мощность, кВт	Расход аргона, л. мин ⁻¹	Сила тока, А	Напряже- ние, В
ПН85Ю15, 100-125 мкм	15,72	37-39	35	620-650	60
ПН55Т45, 40-100 мкм	11,33	28-30	35	470-480	60
ПН55Т45, 10-45 мкм	5,10	16-18	35	270-280	60

ния были уточнены. Для порошка ПН85Ю15 оптимальный уровень мощности составил 33,6-39,6 кВт с использованием добавок водорода в количестве 6-8 л/мин. В случае напыления порошков ПН55Т45 корректировка оказалась более существенной, что, повидимому, связано с большей склонностью никельтитанового сплава к окислению в условиях плазменного напыления. Рекомендованные режимы напыления составили 36,5 кВт для порошка ПН55Т45 с размером частиц 10-45 мкм и 36,6 кВт с использованием добавки водорода (0,5-1 л/мин) для фракции ПН55Т45 40-100 мкм. Покрытия, напыленные в вышеуказанных условиях, обладают минимальной пористостью (6-10 %), максимальной прочностью сцепления (22-33 МПа), что обеспечивает их наиболее высокую стойкость к абразивному износу. Было установлено, что сопротивление абразивному изнашиванию интерметаллидных покрытий системы $Ni - Ti$ в 3,5-4 раза выше, чем покрытий системы $Ni - Al$.

Другим направлением разработки технологии получения покрытий, стойких к абразивному износу, явилось изучение влияния условий термообработки напыленных слоев из никелевых самофлюсующихся сплавов на структуру и свойства оплавленных покрытий. Процессы самофлюсования, взаимной диффузии материалов покрытия и основы, а также выделения и коагуляции частиц упрочняющих фаз в значительной мере связаны с термическим циклом операции оплавления.

Проведен расчет термических циклов процесса нагрева системы "напыленное покрытие - основа" как в условиях нагрева токами высокой частоты, так и газовым пламенем.

Аналогичный подход к расчету температурных полей в системе "покрытие-основа" использован для случая нагрева газовым пламенем. Отличие состоит в том, что в данном случае применяется внешний источник тепла. При нагреве газовым пламенем тепло вводится непосредственно в поверхность покрытия и переносится за счет теплопроводности к поверхности подложки и далее вглубь нее. Фронт оплавления мещается от поверхности покрытия к поверхности подложки. Расчетное время составляет 10 сек (кривые 1 и 2, рис. 1). На рис. 1 проведено сопоставление термических циклов при различных способах термообработки покрытия из никелевого самофлюсующегося сплава. Из него следует, что необходимое время разогрева слоя покрытия при газопламенном нагреве в 2-2,5 раза меньше, чем при ВЧ-нагреве. Повышение частоты электрического поля с 4 до 66 кГц приводит к сокращению времени нагрева покрытия до температуры плавления (1050 °С) в 1,2-1,3 раза. Таким образом более рациональным является использование при термообработке напыленных покрытий ТВЧ с повышенной частотой электрического поля.

С целью проверки результатов расчетной оценки выполнено исследование структуры оплавленного покрытия и зоны термического влияния источника нагрева (ЗТВ). Во всех трех случаях обнаружена четкая плотная зона сплавления покрытия с основой. Протяженность ЗТВ зависит от условий оплавления и составляет не более 60 мкм в случае газопламенного нагрева, около 100 мкм при ТВЧ 66 кГц и до 500 мкм при ТВЧ 4 кГц, что коррелирует с результатами теоретического анализа.

Влияние способа оплавления на фазовый и химический состав покрытий показано в табл. 2.

Исходя из результатов металлографического анализа, в структуре оплавленного покрытия можно выделить 3 основных зоны: I - диффузионная зона, прилегающая к основе; II - переходная зона переменного состава; III - основная зона.

При оплавлении газовым пламенем зона I практически отсутствует, что связано с особенностями ввода тепла и минимальным временем пребывания сплава в области высоких температур. В этом случае покрытие состоит из зон II и III. При оплавлении ТВЧ структура в зоне I представлена твердым раствором Fe-M. Толщина зоны I (20 мкм) не зависит от частоты, однако содержание железа, за счет его диффузии из подложки, при переходе от 66 кГц к 4 кГц, возрастает с 30 % до 87,1 %.

Таблица 2

Фазовый и химический состав покрытий
в зависимости от способа оплавления

Способ оплавления	Зона покрытия	Фазовый состав	Протяжён- ность зоны, мм	Микротвер- дость, МПа	Химический состав ^X , масс. %				
					Ni	Fe	Cr	Si	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	
ТВЧ $f = 66 \text{ кГц}$	I	Ni - Fe твёрдый раствор	20	2000-2400	61,5	30	4,9	3,7	
	II	δ - Ni твёрдый раствор	150-180	3300-3900	66,4	25,5	4,1	3,5	
		Боридная эвтектика		6000-7100	69,9	18,1	4,0	-	
		Карбиды хрома		12500-18000	7,3	6,6	66,2	-	
	III	γ - Ni твёрдый раствор	1100-1300	2900-3800	82,1	4,4	3,0	4,5	
		Боридная эвтектика		7200-9460	80,3	8,8	4,5	-	
		Карбиды хрома		15500-20000	7,6	3,6	76,3	-	
	ТВЧ $f = 4 \text{ кГц}$	I	Ni - Fe твёрдый раствор	20	2000-2200	10,0	87,1	1,7	0,5
		II	δ - Ni твёрдый раствор	400-600	2220-2340	60,8	28,1	3,2	2,3
Боридная эвтектика				6000-7600	70,9	21,6	3,9	-	
Fe-Cr твёрдый раствор				3500-5800	14,4	45,5	30,2	-	
Карбиды				7750-14500	9,6	7,2	73,8	-	

I	2	3	4	5	6	7	8	9					
Ш	γ - Ni твердый раствор	800-900	2220-3300	77,7	9,9	2,8	3,7						
								Боридная эвтектика	6000-8500	79,2	10,9	4,3	-
									Карбиды хрома	7750-14500	3,5	7,5	76,2
АКП I	δ - Ni твердый раствор	200	3300-3900	81,4	8,1	4,2	5,8						
								Боридная эвтектика	6650-7600	84,3	4,3	4,8	-
									Карбиды хрома	12500-14600	8,9	5,2	78,6
Ш	γ - Ni твердый раствор	1200-1300	3300-3900	82,7	5,2	4,7	6,4						
								Боридная эвтектика	7800-8700	84,2	2,2	4,3	-
									Карбиды хрома	14600-16500	8,6	4,9	82,1

Фазовый состав в зоне II для всех способов оплавления практически одинаков: твердый раствор $\gamma - Ni$ в качестве основы сплава, боридные, боросилицидные эвтектики, карбобориды и карбиды хрома в качестве упрочняющей твердой фазы. При использовании АКП и ТВЧ (66 кГц) протяженность зоны II - 180-200 мкм, для ТВЧ на частоте 4 кГц ее ширина возрастает до 400-600 мкм. В целом зона II при всех способах характеризуется плавным снижением содержания железа и приближением состава покрытия к исходному для порошка ПР-Н70Х17С4Р4.

Основная зона (III) простирается до его поверхности, поэтому ее структура и состав определяют износостойкость напыленной детали. Фазовый состав зоны для различных способов оплавления представлен в табл.2. На твердость матрицы (основы сплава) и упрочняющей фазы может оказывать влияние содержание в них железа (рис.2). При оплавлении ТВЧ на частоте 4 кГц наблюдается интенсивная диффузия этого элемента из основы в покрытие, что объясняет более значительное снижение твердости матрицы и внедренных в нее кар-

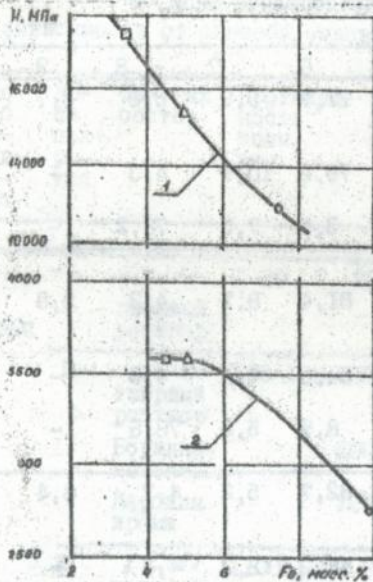


Рис. 2. Зависимость микротвердости фаз от содержания в них железа при различных способах оплавления:

- - ТВЧ /66 кГц/; Δ - АКП;
- - ТВЧ /4 кГц/
- 1 - упрочняющая фаза (карбиды хрома);
- 2 - основа сплава (тв. раствор γ -Fe).

бидов и карбоборидов. Дисперсность твердых фаз зависит от способа нагрева. При использовании АКП и ТВЧ на частоте 66 кГц максимальный размер карбидных частиц составляет 20 мкм. При частоте 4 кГц он возрастает

до 100-120 мкм. Количество карбидной фазы в сплаве при этом изменяется незначительно, с 15 до 19,5 %. Поэтому, существенное различие в размерах твердых частиц объясняется их коагуляцией, процессом диффузионным по своей природе и протекающим при оплавлении ТВЧ на частоте 4 кГц весьма интенсивно из-за большей длительности нагрева.

Другим важным показателем структуры многофазного покрытия является удельная поверхность раздела фаз, которая косвенно характеризует прочность связи частиц упрочняющей фазы с матрицей. В случае газопламенного напыления она в 1,5 раза выше, чем при оплавлении ТВЧ 66 кГц, и в 10 раз выше, чем при применении ТВЧ 4 кГц.

Одним из интересных результатов изучения микроструктуры оплавленных покрытий является установление факта образования при использовании ТВЧ с частотой 66 кГц вблизи границы сплавления зоны толщиной около 200 мкм с пониженной микротвердостью. Ее наличие благоприятно воздействует на напряженное состояние покрытия, способствуя релаксации остаточных напряжений и снижая опасность трещинообразования.

Результаты испытаний абразивной износостойкости напыленных покрытий, оплавленных различными способами, представлены на рис. 3. Наибольшей износостойкостью обладают покрытия, оплавленные ацетилено-

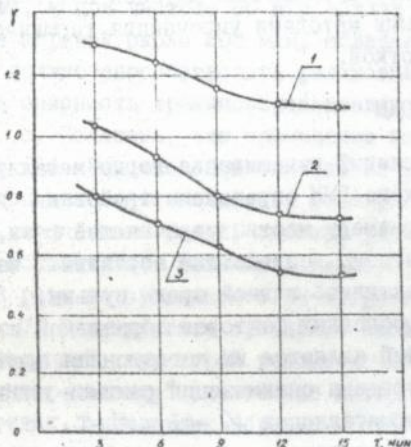


Рис. 3. Зависимость относительного износа (γ) покрытий из сплава ПРН70Х17С4Р4 от времени испытаний при различных способах оплавления:

1 - ТВЧ /4 кГц/; 2 - ТВЧ /66 кГц/; 3 - газовым пламенем.

кислородным газовым пламенем /АКП/ и ТВЧ на частоте 66 кГц. При переходе на частоту 4 кГц износостойкость покрытия снижается в 1,6-1,8 раза.

В целом следует заключить, что применение ВЧ-нагрева с частотой 66 кГц при оплавлении покрытий из никелевых самофлюсующихся сплавов по качеству получаемых покрытий близки к методу нагрева газовым пламенем. Однако по своим технологическим свойствам, возможностям управления процессом автоматизации операции оплавления метод ВЧ-нагрева имеет преимущества перед применением газовых горелок.

На основе результатов теоретических расчетов и экспериментальных исследований были выработаны рекомендации по аппаратуре и технологическим режимам плазменного напыления и термической обработки износостойких покрытий из никелевых сплавов, предназначенных для защиты от износа плунжеров тульпоперекачивающих насосов и других деталей оборудования Норильского горно-металлургического комбината. Создан участок, рассчитанный на производство деталей с упрочняющими покрытиями в количестве до 1,5-2 тыс.шт/год. Покрытия из интерметаллидных сплавов использованы при работе оборудования при перекачке пульпы малой и средней абразивности, т.е. никелевого и медного концентратов, а оплавленные покрытия из никелевого самофлюсующегося сплава — при перекачке пульпы пирротинового концентрата и пустой породы.

В результате практического использования разработанной технологии ежегодный расход плунжеров за счет повышения стойкости в 1,6 раза снизился на 40 %.

В целом применение плазменного напыления на Норильском ГМК позволило увеличить износостойкость различных деталей в 1,5-2,2 раза по сравнению с традиционными методами упрочнения термической и химико-термической обработкой.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основании анализа условий изнашивания горно-металлургического оборудования Норильского ГМК определены требования к составу покрытия, твердости и размеру частиц упрочняющей фазы, обеспечивающим защиту от совместного воздействия абразивных частиц концентратов и коррозионноактивной жидкой среды пульпы.

2. Показано, что одним из основных факторов абразивной износостойкости напыленных покрытий является их когезионная прочность. С целью ее повышения проведена оптимизация режимов плазменного напыления порошков интерметаллидов $Ni-Al$ и $Ni-Ti$ с обеспечением пористости 8-12 % и прочности сцепления 23-32 МПа.

3. На основании проведенного комплекса исследований установлено, что в условиях абразивного изнашивания среди плазменных интерметаллидных покрытий наиболее износостойкими являются покрытия системы $Ni-Ti$ (55 % Ni , 45 % Ti).

4. Путем расчетно-теоретического анализа установлены особенности процесса оплавления покрытия из никелевых самофлюсующихся сплавов на стальной основе в случае газопламенного и ВЧ-нагрева. Показано, что по причинам более низкой точки Кюри, наличия пор и оксидных включений в условиях ВЧ-нагрева разогрев покрытия происходит за счет теплопередачи от нагреваемой в первую очередь ферромагнитной стальной основы. Увеличение частоты с 4 до 66 кГц приводит к уменьшению глубины прохождения вихревых токов и, соответственно, сокращению времени нагрева покрытия до стадии плавления в 1,2-1,3 раза. При газопламенном способе нагрева время достижения сплавом стадии плавления в 2 и 2,5 раза меньше, чем при ВЧ-нагреве на частотах 66 и 4 кГц, соответственно, (при одинаковой тепловой мощности - 0,5-0,6 кВт/см²).

5. В результате исследований состава и структуры оплавленных покрытий, полученных при различных способах термообработки, обнаружено различие в протяженности характерных зон покрытия, дисперсности упрочняющих фаз, интенсивности диффузии железа из основы в покрытие, а также строении и свойствах области раздела покрытия

и основы. Установлено, что при ВЧ-нагреве с частотой 4 кГц наблюдается существенное разбавление материала покрытия железом (до 45 %), а при частоте 66 кГц вблизи границы раздела формируется зона шириной около 200 мкм, обладающая пониженной микротвердостью, что должно способствовать релаксации внутренних напряжений и снижать опасность трещинообразования.

6. Показано, что применение газопламенного и высокочастотного (66 кГц) способов оплавления покрытий из никелевого самофлюсующегося сплава позволяет формировать структуры с мелкодисперсной упрочняющей фазой, высокой удельной поверхностью раздела фаз, что обеспечивает повышение стойкости к абразивному износу в 1,6-1,8 раза по сравнению с ВЧ-нагревом при частоте 4 кГц.

7. В результате сравнения свойств покрытий с напыленной и оплавленной структурой рекомендовано использовать в парах трения "плунжер-сальник" плазменные интерметаллидные ($M-T_1$) покрытия в средах, содержащих абразив с малой и средней твердостью, а оплавленные покрытия из никелевого самофлюсующегося сплава - при перекачке высокоабразивной пульпы.

8. Результаты исследований позволили разработать промышленную технологию плазменного напыления деталей оборудования горно-металлургического производства, реализованную в условиях созданного участка плазменного напыления Норильского горно-металлургического комбината. Ее применение позволило повысить долговечность деталей в 1,5-2,2 раза.

Основные результаты диссертации освещены в работах:

1. Неуймин В.А., Тарасенко Е.Н., Панормова Н.Я. и др. Повышение стойкости покрытий плунжеров шламовых насосов / Цветная металлургия. - 1988. - № 10. - С. 50-51.

2. Неуймин В.А., Шелуха С.А., Леонтьева Г.А. и др. Износостойкость покрытий на основе интерметаллидных сплавов / Сварочное производство. - 1992. - № 8. - С. 33-35.

3. Борисов Ю.С., Миц И.В., Неуймин В.А. и др. Влияние способа оплавления на абразивную стойкость плазменных покрытий из самофлюсующегося никелевого сплава / Автоматическая сварка. - 1993. - № 5. - С. 48-49.

4. Данилов Л.И., Неуймин В.А., Тарасенко Е.Н. Использование газопламенного напыления при ремонте и упрочнении быстроизнашивающихся поверхностей деталей / Цветная металлургия. - 1993. - № 6. - 7, С. 15-17.

5. Тарасенко Е.Н., Неуймин В.А., Бызов В.А. Газотермическое напыление рабочих органов мельниц / Цветная металлургия.- 1994.- № 3.- С. 23-24.

6. Горисов Ю.С., Тарасенко Е.Н., Неуймин В.А. и др. Особенности оплавления напыленных покрытий из никелевых самофлюсующихся сплавов, предназначенных для работы в условиях абразивного износа/ Автоматическая сварка.- 1995.- № 5.- С. 22-25.

7. Неуймин В.А., Милованов В.А. Способ нанесения покрытий. А.С. № 1553569, 1989 г.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРА

В /1,4/ показана актуальность применения плазменного напыления покрытий для защиты деталей горно-металлургического оборудования от абразивного износа, обоснован выбор никелевых сплавов в качестве напыляемых материалов. В /2/ исследовано влияние параметров напыления на износостойкость покрытий из интерметаллидов. В /3/ показана роль способа оплавления в формировании структуры износостойкого покрытия. В /6/ выполнен анализ влияния частоты электрического поля на процесс термообработки покрытий из никелевых сплавов и сравнение методов оплавления газовым пламенем и ТВЧ. В /4,5/ показаны результаты практического применения разработанной технологии.

АНОТАЦІЯ

Неуймін В.О. Рукопис дисертації на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.06 "Технологія та устаткування для зварювання та споріднених процесів" на тему "Розробка покриттів для захисту плунжерів пульпоперекачуючих насосів від гідроабразивного зношування". Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України, Київ, 1996 р. Захищаються розрахунково-теоретичні та експериментальні дані за умовами нагрівання системи "покриття-основа" з використанням газового полум'я та струменів високої частоти, впливу частоти електричного поля на термічні цикли процесу нагрівання та фазовий склад формуючого шару, а також закономірності впливу структури напылених та оплавлених покриттів на їх стійкість до абразивного зношування, нові практичні рішення з технології газотермічного нанесення покриттів на деталі горно-металургійного обладнання.

Ключові слова: плазмове напылення, оплавлення покриттів, інтерметаліди, самофлюсуючий сплав, зносостійкість.

ABSTRACT

Neujmin V.A. Thesis for a degree of a Candidate of Technical Sciences in Speciality 05.03.06 "Technology and Equipment for Welding and Related Processes" on theme "Development of a technology for plasma spraying and heat treatment of coatings for a protection of pulp pump plungers against hydroabrasive wear", the E.O.Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, 1996. Defended are calculated-theoretical and experimental data on the heating conditions of "coating-base" system with application of gas flame and high-frequency currents, effect of electric field frequency on thermocycles of heating process and phase composition of forming layer as well as principles of the effect of the sprayed and remelted coatings structure on their abrasive wear resistance, new practical solutions for the thermal spraying technology of coating deposition on components of mining and metallurgical equipment.

Keywords: plasma spraying, remelting of coatings, intermetallics, self-fluxing alloy, wear resistance.



Подп. в печ. 20.05.96. Формат 60x84/16. Бум.офс. № 2 Офс.печ.
Усл.печ.л. 0,93. Усл.кр.-отт. I,16. Уч.-изд.л. 0,96. Тираж III экз.
Зак. 6-126. Бесплатно.

ІЗС ім.Е.О.Патона. 252650, Київ 5, ГСП, ул.Горького, 69.
ООП ІЗС ім.Е.О.Патона. 252650, Київ 5, ГСП, ул.Горького, 69.

447712

AB 34.901

AB 34.901