На правах рукописи

УДК 621.924.093.048:621.791

Орлик Антон Геннадьевич

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ Д УГОВОЙ НАПЛАВКИ ПОКРЫТИЯ С ЗАДАННЫМ КОМПЛЕКСОМ СВОЙСТВ, СТОЙКОГО К ГИДРОАБРАЗИВНОМУ ИЗНОСУ



05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2012

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: **ЧЕРНЫШОВ Георгий Георгиевич,** доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **ЯМПОЛЬСКИЙ Виктор Модестович** доктор технических наук, профессор, МГУПИ, заведующий кафедрой

БРОДЯГИН Владимир Николаевич, кандидат технических наук, ГУП «МОСГАЗ», главный сварщик

Ведущая организация – Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка (**ГНУ ГОСНИТИ**), г. Москва

Защита диссертации состоится «18» октября 2012 г. в 14:30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.141.01 при Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана

Ваш отзыв на автореферат диссертации в двух экземплярах, заверенных печатью организации, просим направлять по указанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Телефон для справок (499) 267-09-63

Автореферат разослан «11» сентября 2012 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.141.01,
доктор технических наук, доцент **А.В. Коновалов**

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
2000611
Разработка технологии мех.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Конкурентоспособность современных промышленных предприятий во многом зависит от производительности и надежности используемого промышленного оборудования. Эффективность оборудования или промышленного комплекса во многом зависит от технологических перерывов или аварийных остановок на плановый и аварийный ремонт. В наибольшей степени это связано с износом оборудования. Период работы оборудования зависит от ресурса всех деталей входящих в него. Детали, подвергающиеся интенсивному износу, как правило, имеют короткий период эксплуатации, что сильно снижает общий ресурс оборудования и приводит к плановым остановкам.

Предприятиями промышленности и сельского хозяйства ежегодно расходуется сотни тысяч тонн металла на изготовление запасных частей и замену ими быстроизнашивающихся деталей: различного рода штампов, рабочих органов дробильных механизмов, деталей землеройных машин, валков прокатных станов, почвообрабатывающих и других машин. При этом затрачивается большое количество труда, увеличиваются простои агрегатов для замены изношенных деталей, снижается производительность машин и аппаратов. Поэтому повышение износостойкости и срока службы машин весьма важная задача науки и производства, особенно в современных условиях, когда предприятия для сохранения высокой конкурентоспособности вынуждены использовать очень дорогое высокопроизводительное оборудование. Наиболее перспективным методом повышения ресурса работы деталей машин, является наплавка износостойких материалов. Износостойкие наплавленные слои применяют в условиях комбинированного абразивного и эрозионного износа оборудования, такого, как станки для глубокого бурения, землеройные машины, размельчающие установки, мельницы, грязевые насосы, транспортирующие установки, а также машины и установки сельскохозяйственной, пищевой, целлюлозной, химической промышленности. Увеличение ресурса эксплуатации оборудования, работающего в условиях гидроабразивного износа, является актуальной задачей.

Цель работы. Повышение износостойкости деталей, работающих в условиях гидроабразивного износа, за счёт формирования структуры наплавленного слоя с заданным комплексом свойств при механизированной наплавке.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

1) Исследование возможных механизмов гидроабразивного износа и определение критериев его оценки.

2) Обоснование выбора материала для механизированной дуговой наплавки.

МГТУ
им. Н.Э. Баумана
Библиотека

3) Исследование влияния на стойкость покрытий к гидроабразивному износу следующих факторов: параметров режима наплавки, состава и структуры наплавленного металла, газовой защиты, скорости охлаждения и доли участия основного металла в формировании наплавленного слоя.

4) Определение технологических возможностей получения наплавленного покрытия с композиционной структурой и заданным комплексом свойств при механизированной наплавке порошковой проволокой.

5) Разработка технологических рекомендаций для дуговой наплавки порошковой проволокой износостойкого покрытия, обеспечивающего сопротивление гидроабразивному изнашиванию.

Методы исследований. Решение задач осуществляли на основе численных расчётов, экспериментальных исследований и анализа результатов экспериментов с применением стандартных пакетов прикладных программ.

Для анализа структуры наплавленного металла и состава фаз использовали оптический микроскоп «Leica DMILM» с программой обработки изображения «Quin», а также растровые электронные микроскопы «Leo 430i» и «FEI Quanta 3D FEG» с приставкой для микрорентгеноструктурного анализа.

Стойкость наплавленного покрытия к гидроабразивному изнашиванию определяли на установке «Kärcher», по скорости потери массы образцов через 5, 10 и 15 минут обработки.

Научная новизна работы. Показано, что структура наплавленного слоя, обеспечивающая получение требуемого комплекса свойств при гидроабразивном изнашивании, должна быть гетерофазной и формироваться в процессе наплавки с образованием в матрице разно ориентированных кристаллов армирующей фазы при кристаллизации покрытия, твердость которого Hm должна быть более 0,8 твердости абразива Ha.

Определено, что объём и размеры армирующих фаз влияют на темп изнашивания наплавленного покрытия, поэтому необходимо формирование в наплавленном слое структуры с максимальным объёмом упрочняющей фазы и размером карбоборидных кристаллов Rф больше критического размера абразива Rкра, за счет обеспечения времени существования расплавленной ванны не менее 5 сек. и минимальной скорости охлаждения в диапазоне от 60 до 100 С°/сек.

Для объективного выбора материала при наплавке предложены уточненные схемы механизма гидроабразивного изнашивания в зависимости от структуры наплавленного металла. При армировании матрицы частицами карбидов наблюдается ослабление межфазной связи, интенсивный унос матрицы и последующий отрыв частиц, т.е. максимальное проявление эффекта Ребиндера. При упрочнении матрицы в процессе кристаллизации карбоборидными фазами в виде

дендритной сетки снижается скорость уноса матрицы и исключается отрыв упрочняющей фазы, что увеличивает сопротивление изнашиванию.

Практическая значимость работы. Разработаны технологические рекомендации для наплавки деталей, работающих в условиях гидроабразивного износа, обеспечивающие обоснование выбора материала и технологии нанесения покрытия, с учётом особенностей работы данной группы изделий.

Показано, что качественное формирование и дисперсная разноориентированная структура наплавленного слоя достигаются при однослойной однопроходной наплавке порошковой проволокой с системой легирования (Fe+ <5%C, <2,0Si, <0,5%Mn, <20%Cr, <10,0%Mo, <10,0%Nb, <10,0%W, <5,0%B) в среде защитного газа Ar + CO_2, причем предпочтительно содержание CO_2 не более 2 %.

Предложен экспресс-метод оценки стойкости покрытия к гидроабразивному изнашиванию, который позволяет с достаточной степенью точности определить его работоспособность и получить сопоставимые данные для обоснованного выбора технологии наплавки.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы были доложены и обсуждены: на Всероссийской конференции «Будущее машиностроение России» (Москва, 2010); на Всероссийской конференции «Будущее машиностроение России» (Москва, 2011); на конференции «Наукоёмкие технологи в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузах» (Москва, 2010); на конференции «Наукоёмкие технологи в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузах» (Москва, 2011); на научном семинаре кафедры М5-КФ «Технологии обработки материалов» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана (Калуга, 2012); на научном семинаре кафедры М2-КФ «Технологии сварки» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана (Калуга, 2012); на научном семинаре кафедры МТ-7 «Технологии сварки и диагностика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва, 2012).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, в том числе 3 в журналах, рекомендуемых ВАК.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, списка литературы и приложения. Изложена на 133 страницах машинописного текста, содержит 57 рисунков, 19 таблиц и 82 наименования литературных источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, поставлена цель исследования, сформулирована научная новизна и определена практическая значимость работы.

В первой главе проведен анализ состояния проблемы и намечены пути ее решения. Наплавка является универсальным, экономичным и широко применяемым в промышленности методом повышения ресурса работы деталей машин.

В данной работе рассматривается группа изделий, работающих в условиях гидроабразивного износа, такие как спусковые лотки гравийных и песчаных карьеров, смесители, шнеки. Наиболее универсальным представителем данной группы изделий является шнек. Поэтому нами для исследований был выбран шнек регенерационной установки на ОАО «Калужский турбинный завод». К рабочей поверхности этого шнека предъявляются следующие требования: твердость наплавного слоя не менее 50 HRC, высота наплавленного слоя не менее 4 мм, ширина наплавленного слоя не менее 25 мм и ресурс работы не менее 8 месяцев.

В базовой технологии применялась ручная дуговая наплавка износостойкого покрытия электродами Т-590 на постоянном токе прямой полярности. При этом твёрдость наплавленного слоя на рекомендуемых параметрах режима сварки составляла 51 HRC. Следует отметить, что данные прочностные характеристики наплавленного слоя могут быть получены при наплавке второго слоя, а исходя из рекомендаций производителя данных электродов, необходимо наносить не более двух слоёв, что ограничивает применение данных электродов при значительном износе реборды шнека. В процессе наплавки допустимы поперечные трещины.

Ресурс работы данной детали ограничивается 8 месяцами, поэтому необходимо повышение износостойкости наплавки и механизация процесса.

Для решения поставленной цели произведён анализ существующих представлений о механизмах абразивного и гидроабразивного разрушения. Процессу абразивного изнашивания посвящены работы М.М. Хрущова, М.А. Бабичева, В.Н. Виноградова, Г.М. Сорокина, М. М. Тененбаума, А.В. Чичинадзе и др., а гидроабразивного изнашивания работы Д.М. Гаркунова, А.В. Семёнова, Г.Е. Лазарева и др.. При этом механизмы разрушения представлены только для абразивного изнашивания с абразивом и контртелом. Различают: прямое разрушение-унос армирующей фазы и матрицы, интенсивный износ -решётчатое разрушение армирующей фазы и матрицы, умеренный износ-смятие матрицы и разрушение абразива.

Было отмечено, что при гидроабразивном изнашивании в условиях воздействия жидкой фазы отсутствует третий слой между наплавкой и контртелом, характерный для абразивного изнашивания и формирующийся из продуктов разрушения материала и абразива. Унос матрицы и армирующих фаз без дробления абразива

зависит от проявления эффекта Ребиндера, влияние которого на разрушение материала в значительной степени определяется прочностью связей на межфазной границе между матрицей и армирующей фазой.

В работах этих авторов предложены критерии износостойкости. Факторами, определяющими износостойкость, являются: отношение твёрдости металла к твёрдости абразива (критерий Kt), соотношение размера армирующей фазы (Rф) и критичного размера абразива (Rкра) и механические свойства различных структурных фаз.

На основании анализа литературных данных были сформированы требования к структуре металла, определяющие сопротивляемость абразивному разрушению. Главными из них являются: гетерофазность металла, наличие пластичной и прочной матрицы и твёрдых и высокомодульных армирующих фаз. При этом прочность межфазной связи между матрицей и армирующей фазой должна быть максимальной.

На основании имеющихся литературных данных был произведён анализ существующих наплавочных материалов, применяемых при различных видах износа, с системой легирования на железистой основе и на основе карбидов кобальта, никеля, молибдена и вольфрама. В настоящее время более перспективным являются композиционные материалы, позволяющие повысить эксплуатационные свойства деталей машин.

Композиционные металлокерамические покрытия на основе металлов группы железа и тугоплавких фаз применяют для абразивно-нагруженных деталей, которые одновременно подвергаются действию умеренных ударов, например: спусковые лотки гравийных и песчаных карьеров, транспортирующие шнеки, ножи ковша экскаваторов, насосы в производстве бетона, ковши экскаваторов, козырьки драг, перфолисты обогатительного и сортировочного оборудования, колосники печей глинозема, рабочие колеса и улитки землесосов на песчаном грунте, шламовые насосы и детали строительных машин и механизмов, работающих во всех климатических условиях.

Во второй главе описываются материалы, оборудование и методики, применяемые для исследования.

С учётом выявленных критериев износостойкости были выбраны для рассмотрения механизма разрушения при гидроабразивном изнашивании следующие группы наплавочных материалов:

Первая группа – материалы, в которых высокомодульные армирующие фазы вводятся в готовом виде в составе шихты (ex situ). Основные компоненты шихты Fe, Si, Mn и не менее 50 % WC. Для исследований данной группы материалов была выбрана порошковая проволока DO *48.

Вторая группа – материалы, в которых высокопрочная армирующая фаза формируется в расплаве непосредственно в процессе кристаллизации (in situ) за счёт определённого уровня легирования компонентами (Cr, Mo, Nb, W, B)

обеспечивающими формирование в наплавленном металле высокомодульных интерметаллидных фаз. Наиболее характерным представителем данной группы материалов является порошковая проволока DO 390N.

Для оценки сопротивляемости гидроабразивному износу наплавленных слоёв с различной структурой, была выбрана единая методика наплавки и исследования наплавленного металла:

Наплавку на пластины из Ст3 толщиной 8 мм выполняли порошковыми проволоками в защитных газах, на установке фирмы «Fronius» на параметрах режима, обеспечивающих получения заданной геометрии наплавленной поверхности, что реализуется при выборе тока в пределах 145…245 А, напряжения 25…35 В, скорости наплавки 8…10 м/ч и применении поперечных колебаний электрода с частотой 0,65 Гц и амплитудой 7,5…14 мм.

Использовали три основных состава компонентов газовой смеси: 100 % Ar; 98 % Ar + 2 % CO_2 и 80 % Ar + 20 % CO_2. Для изменения скорости охлаждения применяли принудительное охлаждение водой и поперечные колебания электрода.

Для каждого параметра режимов производилась запись термических циклов по оси шва на специализированном измерительном комплексе, позволяющем преобразовывать аналоговые сигналы от термопар. Комплекс производит одновременную запись сигналов по 10 каналам (мгновенные значения тока, напряжения дуги и 8 сигналов от термопар). Повторную запись по каждому каналу производится с чистотой 40 Гц. Обработка данных производилась с помощью электронных таблиц EXCEL.

Замер твёрдости (HRC) на поверхности и в поперечном сечении наплавки производился на универсальном приборе «WilsonWolpert 930N». Вдавливание конуса выполняли при нагрузке 1500 Н.

Для анализа структуры наплавленного металла и состава фаз использовали оптический микроскоп «LeicaDMILM» с программой обработки изображения «Quin».

Исследование структуры методами растровой электронной микроскопии выполнялось на CarlZeiss LEO 430 i с энергодисперсионным рентгеновским анализатором JED-2300 фирмы JEOL и растровом сканирующем электронном микроскопе FEI Quanta 200 3D DualBeam TM (USA) с интегрированной системой фокусированного ионного пучка. После получения растровой микрофотографии, производилось инвертирование фотографий, с целью получения картины, аналогичной фотографиям оптического микроскопа.

Фазовый состав наплавленных покрытий исследовали методами рентгенографии на многоцелевой рентгеновский дифрактометр с системой управления и регистрации на базе IBM PC с ДРОН-3М.

Стойкость наплавленного покрытия к гидроабразивному износу определяли на установке «Kärcher». Потерю массы образца измеряли взвешиванием через 5, 10 и 15 минут обработки. Взвешивание проводили на электронных весах «LP 220 S (Sartorius)» с точностью измерения 0,0001 г.

В третьей главе произведён анализ термических циклов, который показывает, что изменение в пределах выбранного диапазона условий и режимов наплавки отражается на таких параметрах термического цикла как максимальная температура подложки и скорость охлаждения.

Установлено, что при наплавке проволокой, обеспечивающей формирование и рост упрочняющих фаз в процессе кристаллизации твёрдость рабочего слоя по глубине наплавки практически не изменяется, а на поверхности наплавленного слоя находится в диапазоне 58...67 HRC. При наплавке проволокой с введением упрочняющих фаз в готовом виде, твердость у поверхности ниже, чем у линии сплавления.

Поверхностное натяжение расплавленного металла сварочной ванны снижается при добавлении в аргон углекислого газа. Установлено, что применение сварочной смесей Ar – CO_2 с содержанием 20 % CO_2 позволяет уменьшить краевые углы между поверхностью подложки и профилем наплавки до $\varphi < 90^0$, но при этом повышается разбрызгивание.

Для исследуемых параметров режима наплавки была определена доля участия основного металла в наплавленном слое в зависимости от состава защитного газа, скорости охлаждения, применения колебаний и изменения силы тока.

Увеличение доли участия основного металла в смеси на базе аргона с содержанием CO_2 20% больше, чем в смеси с 2 %CO_2, это связано с увеличением жидкотекучести наплавляемого металла и изменением характеристик дуги, что приводит к выгоранию легирующих элементов и увеличению перемешивания основного металла с наплавленным. Следовательно, большее содержание углекислого газа может вызвать снижение износостойкости наплавленного покрытия.

Наплавка с колебаниями также вызывает снижение доли участия основного металла, по сравнению с наплавкой, выполненной без колебаний, что связано с уменьшением нагрева подложки за счет увеличения скорости перемещения конца электрода и, как следствие, снижением мгновенного значения погонной энергии.

На рисунке 1 представлены характерные структуры металла на разной глубине валиков, выполненных порошковыми проволоками.

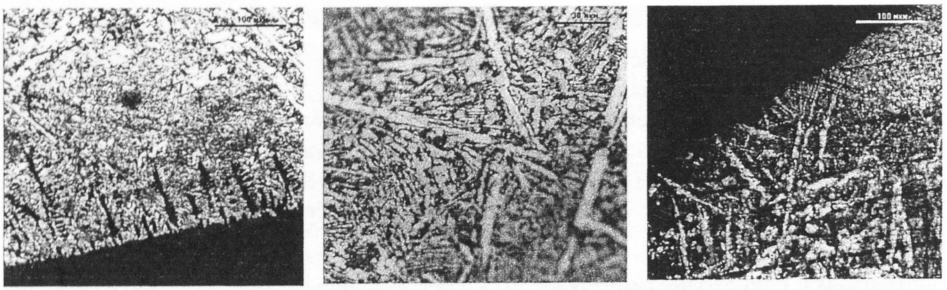
В покрытии, выполненном по технологии, обеспечивающей введение готовой армирующей фазы, наблюдается присутствие в матрице армирующих частиц (WC). При этом у поверхности наплавленного покрытия частиц меньше, чем в зоне сплавления покрытия с основным металлом, из-за осаждения их на дно ванны. Такая неоднородность распределения по сечению наплавленного валика обусловливает изменение твердости по глубине слоя и может влиять на стойкость покрытия к гидроабразивному изнашиванию.

Система легирования- Fe- Si- Mn- WC



а) б) в)

Система легирования- Fe-Si-Mn- Cr- Mo- Nb- W- B



а) б) в)

Рис. 1. Структуры покрытий по глубине валика
для различных схем легирования

а) линия сплавления; б) средняя часть валика; в) верхняя часть валика

В покрытии, выполненном по технологии, обеспечивающей формирование и рост армирующих фаз в процессе кристаллизации, наблюдается дендритная структура, свидетельствующая об эпитаксиальной кристаллизации в зоне сплавлении валика с основным металлом, и формирование игольчатой разно ориентированной дисперсной армирующей фазы по всему сечению наплавленного покрытия. Для оценки влияния армирующих фаз, сформированных в процессе кристаллизации, на механизм изнашивания был проведён анализ размеров армирующей фазы по всему сечению наплавленного слоя рис. 2.

Установлено, что максимальный размер фаз наблюдается при минимальной скорости охлаждения на образцах, выполненных с использованием поперечных колебаний. При увеличении скорости охлаждения происходит уменьшения размеров игл карбоборидных кристаллов. Объёмное содержание фазы и её размеры, в соответствии с имеющимися критериями изнашивания, наиболее благоприятны при минимальной скорости охлаждения, так как в этом случае размер фазы превышает размер абразива.

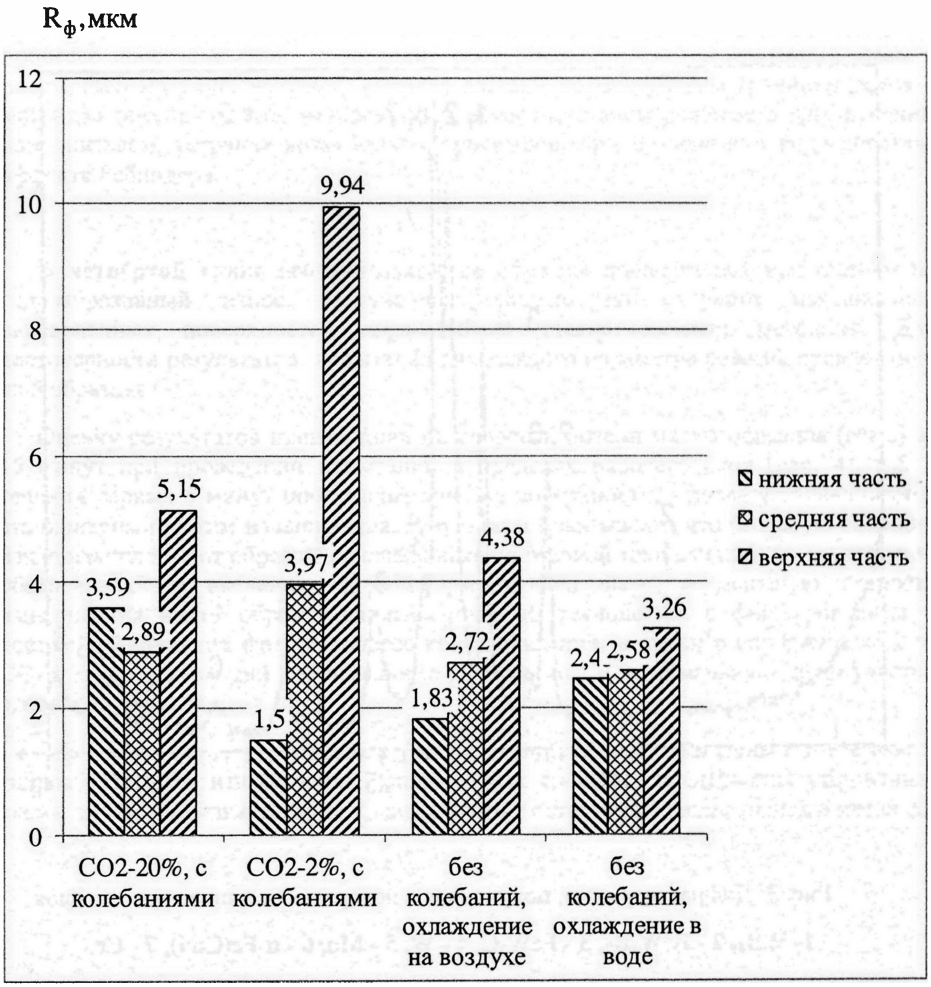


Рис. 2. Размеры кристаллов армирующих фаз

Так как эти фазы высокотемпературные, они являются ведущими в формировании структуры наплавленного покрытия. Кроме того, состав этих фаз определяет их твердость и прочностные свойства, необходимые для обеспечения требуемой сопротивляемости гидроабразивному разрушению покрытия.

Для определения фазового состава наплавленных слоев проводили рентгеновскую съёмку на установке ДРОН-3. Одна из дифрактограмм, снятая с поверхности наплавленного слоя, приведена на рис. 3. Дифрактограммы весьма сложны в расшифровке. Объём мартенситной фазы α – Fe составляет 26,5 %, γ- Fe - 20, 21 %. В составе наплавки обнаружены бориды WB_4, (Mo, W)B (5,3 %), FeW_2B_2 (5,8 %) , карбиды FeW_3C и другие фазы.

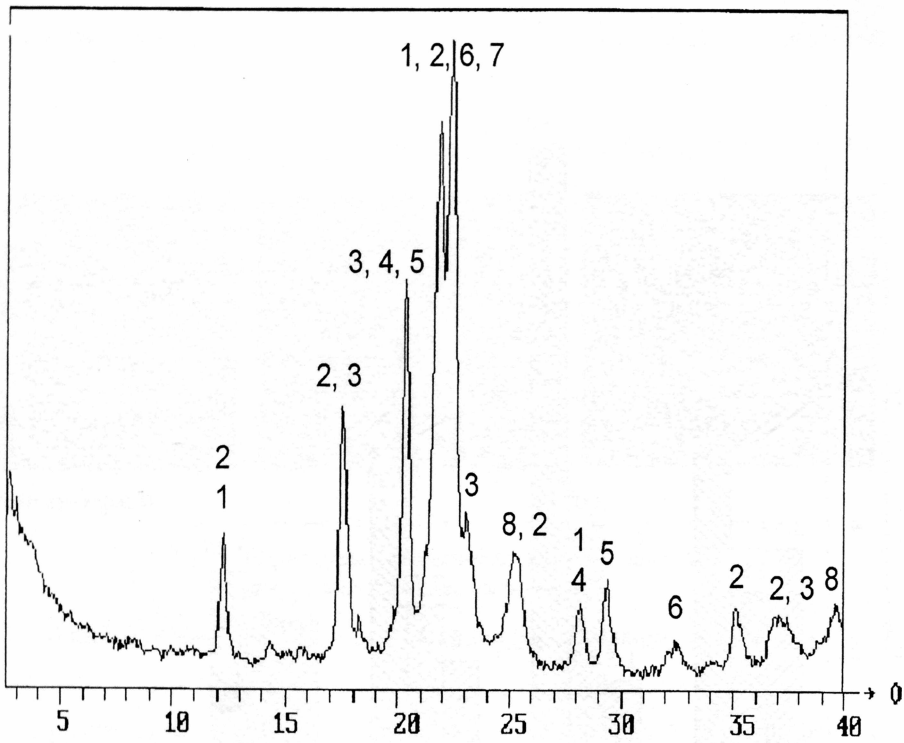


Рис. 3. Дифрактограмма, полученная с поверхности наплавленного слоя

1- WB_4, 2 - FeW_2B_2, 3 - FeW_3C, 4 - W, 5 - Mo, 6 - α-Fe(CrN), 7 - Cr,

8 - γ-Fe

Для уточнения химического состава фаз произведён микрорентгеноструктурный анализ с записью карт в характеристическом излучении. Установлено, что наплавленный металл кристаллизуется как многофазная смесь, содержащая первичные блочные карбиды и бориды Nb и Mo(W) (WC-87 HRC) с температурой плавления выше 3050 и 2100 ^{0}C, а также борокарбиды хрома (CrB_2-106 HRC) и железа в виде дендритных игл, твердость которых выше, чем у абразива. При этом растущие кристаллы карбидов не оттесняют тугоплавкие боридные фазы, а поглощают их вследствие решёточного соответствия и смачиваемости. Это должно обеспечивать требуемое сопротивление гидроабразивному изнашиванию.

В покрытии, наплавленном по технологии с формированием армирующих фаз в процессе кристаллизации, происходит рост высокопрочной армирующей фазы в пластичной матрице, поэтому высокая адгезии по межфазным границам «фаза – матрица» обеспечивается минимальным несоответствием решёток с армирующим наполнителем, устраняя возможность проявления при воздействии гидроабразива эффекта Ребиндера.

В четвёртой главе все наплавленные образцы подвергались испытаниям на гидроабразивный износ. Полученные данные по скорости изнашивания наплавленных поверхностей обрабатывали статистическими методами. Для достоверности результатов испытания для каждого параметра режима производили на 5 образцах.

Оценку результатов производили по скорости потери массы образцов (г/час) за 15 минут при проведении испытаний в пределах рабочего слоя (рис. 4), т.к. в течении первых 5 минут происходит очистка поверхности, а далее устанавливается стационарный режим изнашивания. Результаты показывают, что большую скорость изнашивания имеют образцы наплавленные по базовой технологии и по технологии, обеспечивающей введение готовой армирующей фазы, а меньшую скорость изнашивания имеет образец наплавленный по технологии, с формированием и ростом армирующих фаз в процессе кристаллизации, в смеси с содержанием 2 % CO_2 в аргоне, имеющий максимальные размеры игл и минимальную долю участия основного металла.

На основании проведённых исследований были выявлены особенности гидроабразивного изнашивания наплавленных слоёв и предложены уточненные схемы механизма изнашивания в зависимости от структуры наплавленного металла.

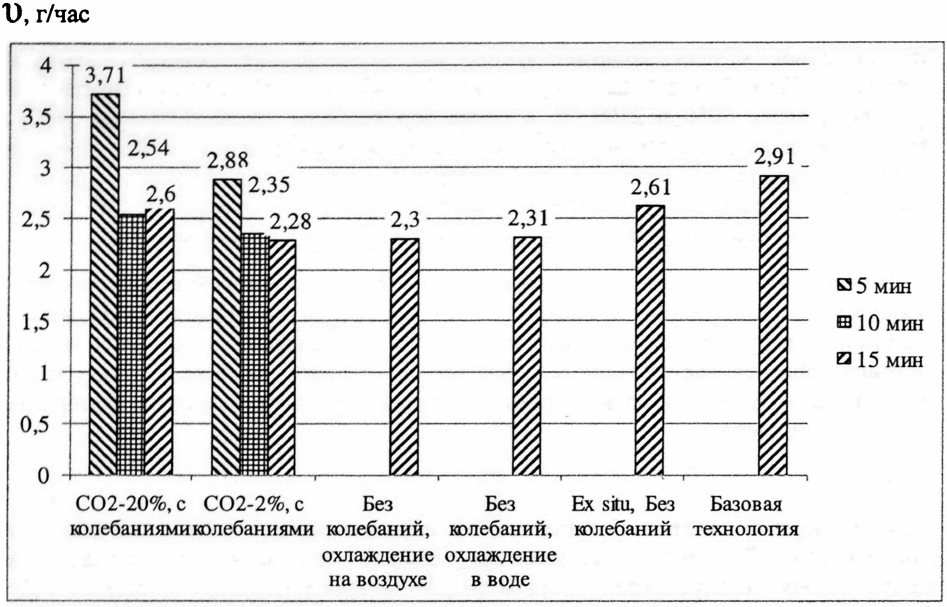


Рис. 4. Скорость изнашивания наплавленных слоёв

Для технологии, обеспечивающей введение готовой армирующей фазы, характерно вымывание матрицы, ослабление межфазной связи армирующей фазы с матрицей и последующий отрыв фазы (рис. 5), т.е. максимальное проявление эффекта Ребиндера, что подтверждается результатом проведённых испытаний.

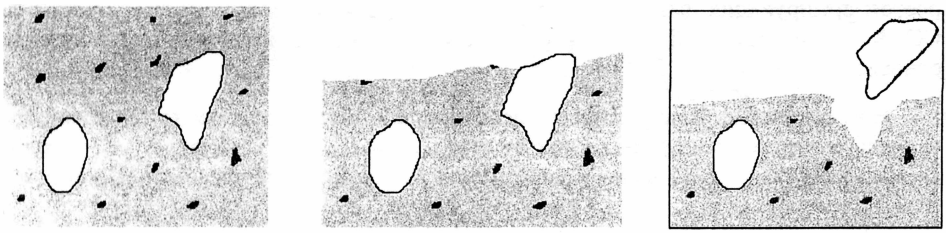


Рис. 5. Особенности гидроабразивного изнашивания покрытия, выполненного по технологии ex situ
а) первый этап; б) второй этап; в) третий этап

Для технологии с формированием и ростом армирующих фаз в процессе кристаллизации характерна максимальная связь матрицы и армирующей фазы, исключающая проявление эффекта Ребиндера, упрочнение матрицы дисперсными карбоборидными включениями и формирование упрочняющей фазы в виде дендритной сетки, снижающей скорость уноса матрицы. При этом разрушение поверхности покрытия, сформированного по технологии in situ, происходит путём уноса матрицы и обламывания абразивом выступающих игл упрочняющей фазы, а не за счет вымывания и выкрашивания зерен упрочняющей фазы (рис. 6).

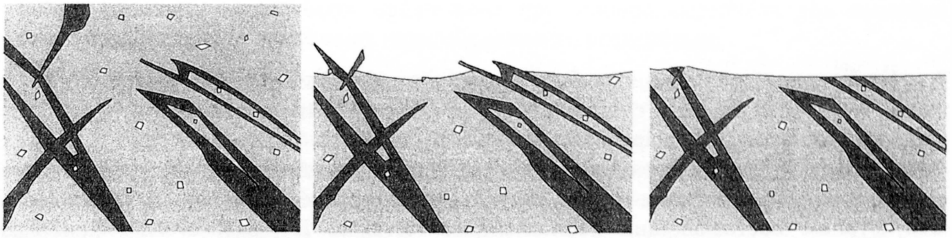


Рис. 6. Особенности гидроабразивного изнашивания покрытия, выполненного по технологии in situ
а) первый этап; б) второй этап; в) третий этап

Предварительная оценка по принятому для абразивного износа параметру Кт является не однозначной для гидроабразивного изнашивания. Этот критерий может быть использован как необходимый, но недостаточный показатель. Полученные нами наплавленные покрытия имеют величину K_m> 0,8. Это показывает, что рассматриваемые процессы абразивного разрушения поверхности исследуемых наплавленных слоев могут быть отнесены к механизму умеренного разрушения, поэтому окончательный выбор материала для наплавки следует проводить с учетом данных структурного анализа, подтверждающего возможность получения структуры с максимальным сопротивлением изнашиванию.

На основании проведённых исследований и выявленных особенностей гидроабразивного изнашивания были разработаны технологические рекомендации для нанесения износостойкого покрытия. Для обеспечения требуемой стойкости к гидроабразивному изнашиванию наплавленного покрытия необходимо применять материалы на железной основе с системой легирования Fe- C- Si- Cr- Mo- Nb- W- B, позволяющие формировать структуру наплавленного слоя с разно ориентированной игольчатой упрочняющей фазой состава Fe- C- Cr и мелкодисперсными карбидами в

матрице. Твёрдость по всему сечению рабочего слоя должна быть не менее 64 HRC для получения величины критерия Кт более 0,8.

Производственные испытания производили при восстановлении реборды шнека конвертирующей установки на ОАО «Калужский турбинный завод». Разработана технология восстановления рабочей поверхности реборды шнека на основании проведённых исследований. Ресурс работы изделия увеличился в два раза. На предлагаемую технологию получен акт внедрения.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1) Показано, что при выборе материла для наплавки слоев, стойких к гидроабразивному износу, существующий критерий КТ является недостаточным, так как не в полной мере характеризует износостойкость материала, даже в рамках одного структурного класса сплавов. В условиях гидроабразивного износа большее значение имеют межфазные связи, геометрические размеры, прочность и твердость структурных составляющих наплавленного металла. В связи с этим наиболее предпочтительны наплавочные материалы, обеспечивающие формирование высокомодульных упрочняющих фаз в процессе кристаллизации в пластичной матрице как многофазной смеси, содержащей первичные блочные карбиды и бориды, с высокой адгезией по межфазным границам «фаза – матрица».

2) Раскрыт механизм разрушения поверхности при гидроабразивном износе покрытий со структурой, содержащей упрочняющие фазы в виде игольчатых дендритов и полученной in situ с использованием сварочных материалов на железной основе с системой легирования Fe- C- Si- Cr- Mo- Nb- W- B. Установлено, что в отличие от наплавленных покрытий со структурой, содержащей сформированную ex situ упрочняющую фазу в виде WC, разрушение покрытия с игольчатыми дендритами, происходит не за счет вымывания и выкрашивания зерен упрочняющей фазы, обусловленного эффектом Ребиндера, а путём обламывания абразивом выступающих игл упрочняющей фазы, что позволяет увеличить сопротивление износу в 1,5…2 раза.

3) Основное сопротивление разрушению оказывают иглы упрочняющей фазы, поэтому при выборе технологии наплавки для формирования структуры с высоким сопротивлением гидроабразивному разрушению необходимо использовать режимы с минимальной скоростью охлаждения ванны, обеспечивающие формирование в наплавленном слое структуры с максимальным объёмом упрочняющей фазы, размером карбоборидных кристаллов Rф ≥ Rкра и твердостью Hm более 0,8 твердости абразива Ha, но не приводящие к деградации упрочняющей фазы и увеличению доли участия основного металла в наплавленном слое, и защитный газ с содержанием CO_2 в Ar не более 5 %.

4) Диапазон изменения режимов наплавки должен обеспечивать с одной стороны качественное формирование и заданные размеры наплавленного валика, с другой стороны требуемые параметры термического цикла, что реализуется при однослойной однопроходной наплавке за счет выбора тока в пределах 145…245 А, напряжения 25…35 В, скорости наплавки 8…10 м/ч и применения поперечных колебаний электрода с частотой 0,65 Гц и амплитудой 7,5…14 мм.

5) Предложена методика испытаний на гидроабразивный износ, позволяющая получать сравниваемые результаты оценки стойкости различных видов покрытий. Адекватность методики подтверждена производственными испытаниями наплавленных слоёв в реальных условиях гидроабразивного изнашивания, поэтому данная методика может быть предложена при выборе материала для наплавки деталей, работающих в условиях гидроабразивного воздействия.

6) Промышленное испытание выбранного наплавочного материала на железной основе с системой легирования Fe- C- Si- Cr- Mo- Nb- W- B и рекомендуемой технологии наплавки покрытия при ремонте шнека на ОАО Калужский турбинный завод показало, что стойкость покрытия увеличивается в два раза и позволяет экономить на каждом шнеке не менее 1 млн. 450 тыс. руб. за счет сокращения объема ремонтных работ.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Орлик А.Г., Коберник Н.В. Получение износостойких антиабразивных покрытий

// Труды МГТУ им. Н. Э. Баумана. Математическое моделирование сложных технических систем.- 2010.- № 602.- С. 34 – 38.

2. Орлик А.Г. Получение покрытий, стойких против абразивного износа // 3-я Всероссийская конференция молодых учёных и специалистов «Будущее машиностроение России»: Сборник трудов.- Москва, 2010.- С.106-107.

3. Орлик А.Г., Орлик Г.В. Способы формирования наплавленного слоя с особыми свойствами // Наукоёмкие технологи в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: Тезисы ВНТК.- Москва, 2010.- С. 45-49.

4. Орлик А.Г. Получение покрытий, стойких против абразивного износа // 4-я Всероссийская конференция молодых учёных и специалистов «Будущее машиностроение России»: Сборник трудов.- Москва, 2011.- С. 111-112.

5. Влияние структуры наплавленных покрытий на стойкость к абразивному износу /А.Г. Орлик [и др.] // Физика и химия обработки материалов.- 2011.- № 5.- С. 44-50.

6. Орлик А.Г., Орлик Г.В. Нанесение покрытий, стойких к гидроабразивному износу // Наукоёмкие технологи в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: Тезисы ВНТК.- Москва, 2011.- С. 65.

7. Орлик Г.В., Коберник Н.В., Орлик А.Г. Оценка влияния состава газовой смеси на структуру и свойства покрытий, стойких против гидроабразивного износа // Электронное научно-техническое издание «Наука и Образование».- 2012.- №77-30569 /365792.

8. Влияние технологии дуговой наплавки на структуру и стойкость покрытий на основе железа против гидроабразивного износа / Г.Г. Чернышов [и др.] // Сварка и диагностика.- 2012.- №3.- С. 23-29.