

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 669 : 620.197

Филипчик Алексей Вячеславович

**ТЕХНОЛОГИЯ СТРУЙНОЙ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ОЧИСТКИ
И ЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ОТ КОРРОЗИИ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В СОСТАВЕ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ
БЕНТОНитОВОЙ ГЛИНЫ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.02.07–Технология и оборудование механической и
физико-технической обработки

Минск, 2013

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель

Качанов Игорь Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Кораблестроение и гидравлика», Белорусский национальный технический университет

Официальные оппоненты:

Девойно Олег Георгиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий НИИЛ «Лазерных и плазменных технологий», НИЧ Белорусского национального технического университета;

Лебедев Владимир Яковлевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией физики поверхностных явлений, ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»

Оппонирующая организация

Государственное научное учреждение «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»

Защита состоится 01 ноября 2013 г. в 14⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.03 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, корп.1, ауд. 202, тел. ученого секретаря 292-24-04.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «01» октября 2013 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
доктор технических наук, профессор

О.Г. Девойно

© Филипчик А.В., 2013

© Белорусский национальный
технический университет, 2013

ВВЕДЕНИЕ

Отличительной особенностью современного промышленного производства Республики Беларусь является отсутствие собственной сырьевой базы и существенная зависимость от импортных энергоносителей и материальных ресурсов, поставляемых по мировым ценам. При работе в таких условиях эффективность производства в основном может быть достигнута за счет использования энерго- и ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих получение высококачественной, конкурентоспособной продукции. Эффективность реализации целого ряда технологических процессов напрямую зависит от качества очистки поверхностей от коррозии. Так, например, для подготовки стальных листов под лазерную резку (в настоящее время на промышленных предприятиях Республики Беларусь насчитывается порядка 300 комплексов, на которых разрезается ежегодно порядка 50–80 тыс. т листовой стали) необходимо после очистки от коррозии иметь высококачественную поверхность с шероховатостью $Ra = 0.2–0.4$ мкм, с минимальным уровнем упрочнения (микротвердость H_{μ} после обработки по сравнению с исходным значением $H_{\mu 0}$ должна находиться в пределах $H_{\mu} = 1.2–1.4 H_{\mu 0}$) и низкой отражательной способностью. Подготовка стальной поверхности под покраску предусматривает получение шероховатости $Ra = 30–40$ мкм, обеспечивающей при соответствующих режимах сушки эффективное схватывание слоев краски с очищенной поверхностью. При этом актуальным является вопрос предотвращения повторной коррозии при значительном по времени (2–5 часов) нахождении очищенной детали под воздействием атмосферной коррозии.

Известные процессы струйной очистки стальных изделий от коррозии (гидродинамические, дробеструйные, пескоструйные и т.д.) основанные на использовании струй воды или воздуха высокого давления с добавками различных абразивных материалов (песок, чугунная или стальная дробь, мелкодисперсный лед и т.д.) не отвечают в полной мере указанным требованиям (особенно в части предотвращения повторной коррозии либо получения матовой поверхности с низкой отражательной способностью).

Для решения указанных задач в диссертации разработана технология струйной гидроабразивной очистки (ГАО) и защиты стальных изделий от коррозии с использованием в составе рабочей жидкости бентонитовой глины, позволяющая наряду с очисткой сформировать защитное покрытие (пленку) на обработанной поверхности, что обеспечивает ее защиту от повторной коррозии. Наряду с защитными свойствами сформированное покрытие обладает эффектом светопоглощения, что является актуальным для подготовки листовых материалов под лазерную резку.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Исследования и результаты, положенные в основу диссертации, соответствуют перечню приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 годы, утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19 апреля 2010 г. № 585, в частности пунктам:

Новые материалы для промышленности, медицины и строительства, наукоемкие технологии их производства. Metallургические и литейные процессы (п. 8.3. теории прочности, пластичности, формообразования и разрушения материалов, металлургические процессы черных и цветных металлов, сплавов на их основе, технологии производства литейных сплавов с использованием вторичных ресурсов на основе черных и цветных металлов; п. 8.6. высокоэнергетические процессы в технологической среде и на границе раздела фаз при формообразовании, упрочнении, обработке и испытании материалов, формировании покрытий).

Исследования, приведенные в диссертации, выполнены в соответствии с грантом Министерства образования Республики Беларусь ГБ 05-01 «Разработка технологии гидроабразивной обработки поверхности слоя стальных изделий кавитирующей водополимерной струей (КВПС)» 2005 г., № ГР 2005965.

Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка технологии струйной гидроабразивной очистки и защиты стальных изделий от коррозии с использованием в составе рабочей жидкости бентонитовой глины, обеспечивающей формирование антикоррозионного защитного покрытия со светопогложительными свойствами на очищенной поверхности.

Для достижения поставленной цели потребовалось решение следующих задач:

1. Разработать и создать составы рабочей жидкости на основе бентонитовой глины для очистки стальных изделий от коррозии и одновременного формирования защитных пленочных покрытий на очищенной поверхности.
2. Разработать математическую модель процесса струйной очистки стальных поверхностей, позволяющую прогнозировать минимальное давление разрушения слоя коррозии с учетом кинематических параметров струи и физико-механических свойств разрушаемого материала.

3. Решить вариационную задачу по установлению оптимального угла конусности струеформирующего устройства (конфузора) с учетом влияния средней скорости движения жидкости, вязкости и радиусов конфузоров.

4. Изучить закономерности влияния конструктивно-технологических параметров процесса струйной гидроабразивной очистки (ГАО) на параметры качества обработанной поверхности и свойства сформированного пленочного покрытия.

5. По результатам исследований установить оптимальные режимы очистки металлических изделий на основе использования струйной ГАО, позволяющие одновременно с очисткой сформировать поверхности с заданными параметрами качества (шероховатость, микротвердость) высокими эксплуатационными характеристиками (коррозионная стойкость), отвечающими требованиям последующих операций (лазерной резки, покраски) и внедрить результаты исследований в производство и учебный процесс.

Объект исследования – процесс гидроабразивной очистки металлических поверхностей от продуктов коррозии с образованием защитного антикоррозионного, светопоглощающего покрытия.

Предмет исследования – энергосиловой режим, концентрации компонентов в составе рабочей жидкости и их влияние на качество поверхности и свойства сформированного защитного антикоррозионного светопоглощающего покрытия.

Положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Математическая модель расчета минимального верхнеграницного давления, вызывающего разрушение слоя коррозии при воздействии на него струи рабочей жидкости, *учитывающая* физико-механические свойства разрушаемого материала, действие динамических напряжений на поверхностях разрыва принятого поля линий скольжения, кинематические параметры струи рабочей жидкости и *позволившая* на основе полученного уравнения рассчитать минимальные значения давления и скорости струи, необходимые для разрушения коррозионного слоя на поверхности изделий.

2. Результаты теоретических и экспериментальных исследований по установлению влияния угла конусности конфузора на потери напора, *отличающиеся* учетом средней скорости движения жидкости по конфузору, вязкости и радиусов конфузоров, *позволившие* определить оптимальные значения угла конусности, обеспечивающего получение максимальной скорости струи на выходе из конфузора.

3. Результаты экспериментальных исследований влияния концентрации компонентов рабочей жидкости на силовое воздействие струи рабочей жидкости, *позволяющие* установить их оптимальные концентрации, обеспечивающие

процесс очистки металлических поверхностей от коррозии с минимальными энергозатратами.

4. Результаты экспериментальных исследований шероховатости, микротвердости очищенной поверхности, химического состава и адгезионной прочности сформированных в результате обработки коррозионностойких покрытий, *позволяющие* определить оптимальные режимы гидроабразивной очистки металлических поверхностей, предназначенные для последующего использования их под лазерную резку или покраску при разработке технологий ГАО для очистки и защиты от коррозии.

Личный вклад соискателя

Автором написано большинство статей, тезисов, докладов, отчет о НИР, патентов, разработана технология ГАО для очистки и защиты от коррозии с использованием в составе рабочей жидкости бентонитовой глины, полиакриламида, кальцинированной соды.

Научным руководителем, доктором технических наук, профессором Качановым И.В. сформулированы цель и задачи исследований, основные положения, выносимые на защиту, оказывалась научно-консультационная и практическая помощь на всех этапах выполнения работы.

Другим соавторам научных публикаций принадлежат результаты, не вошедшие в работу.

Апробация результатов диссертации

Основные положения и результаты работы были доложены и обсуждены на следующих научно-технических конференциях: 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10-й Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» (г. Минск, 2004, 2006, 2007, 2010, 2011, 2012, 2013 гг.); 4-й Международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» (г. Минск, 2011 г.); Международной научно-технической конференции «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин», посвященной 25-летию кафедры «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод» Белорусского национального технического университета (Минск, 2010 г.); Международной научно-практической конференции «Современные проблемы гидропневмосистем машин», посвященной 60-летию создания автотракторного факультета Белорусского национального технического университета (Минск, 2011 г.).

Опубликованность результатов диссертации

По теме диссертации опубликовано 22 научные работы (из них 3 опубликованы без соавторов), в том числе 5 статей в изданиях, включенных в перечень ВАК (1.6 авторских листа), 5 статей в сборниках материалов международных научных конференций, 7 тезисов докладов на конференциях, 3 патента на изобретения, 2 патента на полезную модель.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав с выводами к каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертационной работы составляет 146 страниц, она содержит 90 страниц основного текста, 72 рисунка на 20 страницах, 11 таблиц на 4 страницах, 7 приложений, библиографический список из 140 источников, включая 22 публикации автора.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В общей характеристике работы представлены связь работы с крупными научными программами и темами, цель и задачи исследования, основные положения выносимые на защиту, личный вклад соискателя, апробация, опубликованность, структура и объем диссертации.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, показан ряд вопросов, нуждающихся в изучении, отражено место диссертации среди других исследований по аналогичной тематике. Отмечено наличие проблемы очистки металлических поверхностей от продуктов коррозии. Показана необходимость проведения подготовительных работ по очистке металлических поверхностей от продуктов коррозии.

В первой главе выполнен анализ струйных технологий и оборудования, используемых на промышленных, судоремонтных и других предприятиях, как за рубежом, так и в Республике Беларусь для очистки металлических поверхностей от продуктов коррозии и формирования универсальных защитных, светопоглощающих покрытий.

Известные процессы струйной очистки стальных изделий от коррозии (гидродинамические, дробеструйные, пескоструйные и т.д.) имеют ряд существенных недостатков (быстрое разрушение абразивных частиц, жесткая зависимость между величинами исходной и конечной шероховатости на обработанной поверхности, повторная коррозия обработанных изделий), которые существенно снижают эффективность обработки.

В этой связи заслуживает внимание гидроабразивная очистка, которую характеризуют такие очевидные преимущества, как отсутствие пыле- и тепловыделения, медленное разрушение абразивных частиц за счет демпфирующего действия рабочей жидкости, отсутствие жесткой зависимости между величинами исходной и конечной шероховатости на обработанной поверхности.

Предварительные эксперименты показали, что эффективность ГАО может быть существенно повышена, если одновременно с очисткой решается задача по формированию на поверхности защитного покрытия, позволяющего блокировать протекание повторных коррозионных процессов на очищенной

поверхности. Весьма актуальным для ряда технологических процессов, например, для лазерной резки является формирование поверхности с низкой отражательной способностью, что позволяет более эффективно использовать световую энергию лазерного луча и таким образом повысить производительность и эффективность машин для лазерной резки.

Однако для эффективного внедрения технологии ГАО в сферу промышленного производства Республики Беларусь необходимо дальнейшее углубление теоретических и экспериментальных исследований, связанных с установлением оптимальных режимов обработки, влияния конструктивно-технологических факторов на качество обработанной поверхности. Необходимы исследования по определению состава рабочей жидкости, с помощью которого в процессе очистки оказывается возможным сформировать на обработанной поверхности защитное антикоррозионное покрытие с низкой отражательной способностью. Отмеченные моменты, в части формирования на обработанных поверхностях покрытий с заданными эксплуатационными свойствами, приобретают особую актуальность при изготовлении деталей с длительным межоперационным циклом (при постройке, ремонте корпуса судна межоперационный цикл для ряда деталей может составлять 2–3 месяца, что требует решения вопроса по их коррозионной защите в указанном промежутке времени), либо под последующую обработку, например, под лазерную резку, газопламенное напыление, покраску и т.д.

На основании изучения состояния вопроса сформулированы цель и задачи работы.

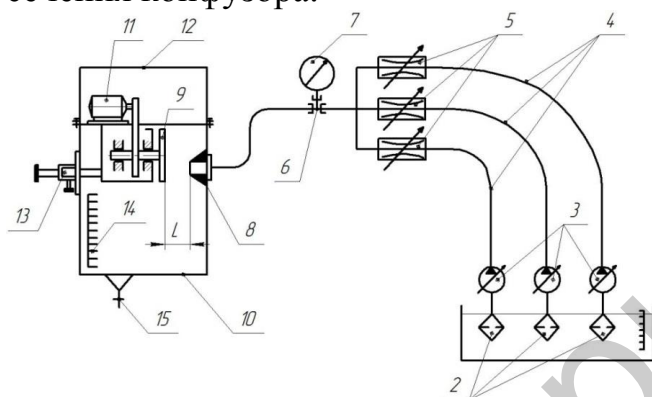
Во второй главе обоснован состав рабочих жидкостей для очистки металлических изделий от коррозии, содержащий бентонитовую глину (бентонит), кальцинированную соду Na_2CO_3 , полиакриламид, остальное вода. Показано, что бентонит усиливает силовое воздействие струи рабочей жидкости и в сочетании с кальцинированной содой позволяет поддерживать рабочую жидкость во взвешенном состоянии достаточно длительное время (2–3 месяца); использование полиакриламида позволяет повышать компактность струи при ее выходе из конфузора, что способствует увеличению силового воздействия рабочей жидкости на очищаемую поверхность, вода, в составе рабочей жидкости, исключает процесс пылеобразования и обеспечивает перенос продуктов очистки из рабочей в зону утилизации отходов.

Один из компонентов рабочей жидкости-бентонит (ГОСТ 28177-89), обладает однородностью, агрегативной и кинетической устойчивостью (способность частиц не слипаться), частицы бентонита могут удерживаться во взвешенном состоянии в течении многих месяцев, что не требует применения барботажных устройств для поддержания рабочей жидкости во взвешенном состоянии. При высушивании (удалении воды) формируется прочное сцепление ча-

стиц бентонита, как между собой, так и с поверхностью обработанного материала.

Обоснован выбор материалов – стали 08кп и Ст3 (группа углеродистых сталей), широко используемых в машиностроительном производстве Республики Беларусь.

Исследования процесса очистки проводили на разработанном лабораторном стенде, содержащем мембранные насосы высокого давления 7000 НА (рисунок 1), которые обеспечивали проведение экспериментальных исследований процесса ГАО, при переменных давлениях на входе в конфузур $p_{вх}=15-30$ МПа со скоростями вытекающей струи $V_{стр}$ в диапазоне 150–300 м/с. Скорость струи $V_{стр}$ определялась через отношение объемного расхода Q к площади выходного сечения конфузора.



- 1-бак; 2-фильтры; 3-мембранные насосы высокого давления; 4-напорные линии; 5-регулирующие дроссели; 6-тройник со штуцерным соединением; 7-манометр; 8-конфузур; 9-обрабатываемая пластина; 10-мерный бак; 11-электродвигатель; 12-крышка бака; 13-регулирующее устройство для изменения расстояния L от сопла до обрабатываемой поверхности; 14-мерная шкала; 15-сливной кран

Рисунок 1 – Схема экспериментального стенда

Щ4313 с погрешностью измерений до 2 %.

В соответствии с СТБ 1798-2007, ГОСТ 33-2000 кинематическая вязкость рабочей жидкости определялась с помощью вискозиметра Энглера.

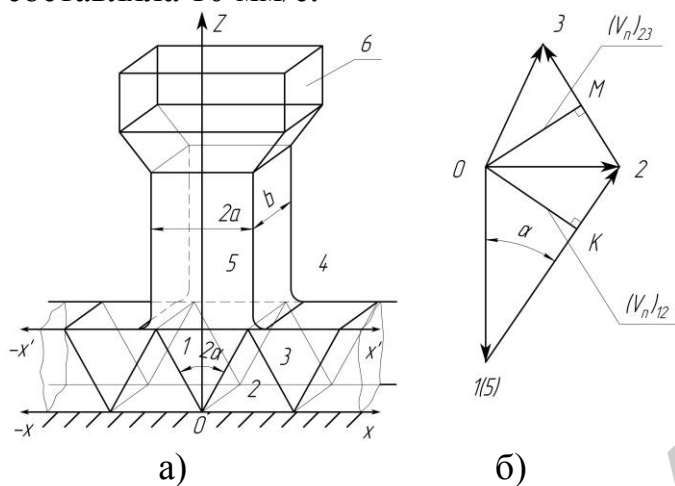
Шероховатость поверхности образца по параметру R_a до и после очистки измерялась в соответствии с ГОСТ 2789-73 на профилометре – профилографе модели 252 типа А1 с погрешностью измерений до 5 %.

Измерение микротвердости проводилось на микротвердомере «Micromet – 2» с нагрузкой на индентор равной 0,5Н (ГОСТ 9450-76).

Отдельные эксперименты по ГАО на более высоких давлениях проводились на опытном участке в ОАО «Слуцкий сахарорафинадный комбинат», где была использована очистная машина высокого давления КАМАТ К451А-Е45В (ФРГ) с $p_{вх} = 63$ МПа и $Q = 37$ л/мин, или $p_{вх} = 117$ МПа и $Q = 20$ л/мин, при мощности $N = 45$ кВт.

Для измерений давления в лабораторных условиях при воздействии струи на обрабатываемую поверхность образца использовался электронный датчик перепада давления ЭДП, с пределом измерения 30МПа и регистрирующей аппаратуры в виде комбинированного цифрового омметра

Адгезионную прочность покрытий определяли в испытательном центре ГНУ «Институт порошковой металлургии» методом склерометрии (царапания), который заключается в движении нагруженного алмазного индентора по поверхности образца. Та величина нормальной нагрузки, при которой происходит срыв покрытия, называется критической. Царапание поверхности образцов с покрытиями осуществляли алмазным индентором типа Роквелл с радиусом закругления 200 мкм. Скорость перемещения индентора по поверхности образца составляла 10 мм/с.



а) поле линий скольжения, б) годограф скоростей

Рисунок 2 – Расчетная схема для математического моделирования процесса струйного воздействия на разрушаемый слой коррозионных отложений

В третьей главе выполнено теоретическое обоснование режимов ГАО на основе метода, известного в механике сплошной среды как «метод верхней оценки». На рисунке 2 представлена расчетная схема для математического моделирования процесса очистки поверхности от слоя коррозионных отложений. Приведены допущения, на основе которых выбрано кинематически возможное поле линий скольжения (рисунок 2, а), состоящее из жестких треугольных блоков 1, 2, 3, сформированных в разрушаемом слое коррозии при воздействии на него плоской струи 5 рабочей жидкости, сформированной в конфузоре 6.

Цифрами 0 и 4 на рисунке 2, а обозначены жесткая неподвижная зона и свободное пространство соответственно. Построение годографа скоростей (рисунок 2, б) для принятого поля линий скольжения проводилось на основе известных принципов графостатики.

В принятом поле линий скольжения (рисунок 2, а) и построенном для него годографе скоростей (рисунок 2, б) варьируемым параметром является угол α .

Для определения величины давления, действующего со стороны струи на поверхность коррозионного слоя и вызывающего его разрушение, использовалось уравнение баланса мощностей внешних и внутренних сил

$$W_{\text{вн}} = W_{\text{стр}}, \quad (1)$$

где $W_{\text{стр}}$ – гидравлическая мощность струи, действующей на преграду;
 $W_{\text{вн}}$ – мощность внутренних сил сопротивления.

В результате решения вариационной задачи по установлению оптимального значения угла α в принятом поле из условия минимума мощности, затраченной на преодоление внутренних сил, действующих на поверхностях разрыва и трения, получено уравнение для расчета минимального давления разрушения:

$$p_{\min} = 2.83\sigma_{\hat{a}} + 0.465\rho V_{\text{под}}^2, \quad (2)$$

где p_{\min} – минимальное давление, которое необходимо создать на поверхности для разрушения слоя коррозии;

$\sigma_{\text{в}}$ – предел прочности разрушаемого материала;

ρ – плотность разрушаемого материала;

$V_{\text{стр}}$ – скорость струи при взаимодействии ее с поверхностью слоя коррозии.

На основании зависимости (2) установлено, что определяющее влияние скорости струи $V_{\text{стр}}$ на величину давления p_{\min} начинается проявляться со значений более 50 м/с; влияние плотности на давление p_{\min} начинает убывать при значениях скорости более 200 м/с.

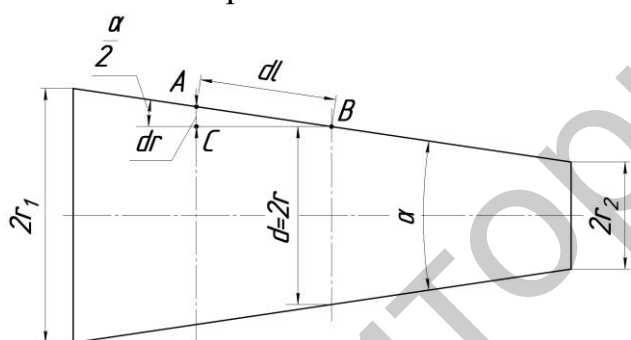


Рисунок 3 – Расчётная схема конфузора, принятая для определения оптимального угла конусности α_{opt}

В этой же главе приводится решение вариационной задачи по минимизации потерь напора в потоке жидкости, проходящей через конфузор. Полученное решение позволяет рассчитывать максимальную скорость струи на выходе из конфузора, под действием которой обеспечивается максимальное силовое воздействие на очищаемую поверхность. Для установления оптимального угла конусности конфузора α_{opt} при расчете

конфузора (рисунок 3), полная потеря напора \dot{h} рассматривалась как сумма:

$$\dot{h} = \dot{h}_{\text{мп}} + \dot{h}_{\text{н.с}}, \quad (3)$$

где $\dot{h}_{\text{мп}}$ - потери напора на гидравлическое трение;

$\dot{h}_{\text{н.с}}$ - потери напора на сужение.

В результате решения (3) с минимизацией потерь напора в конфузоре для течения рабочей жидкости в зоне гладкостенного сопротивления с числами Рейнольдса $10^5 > Re > 2320$, при $\alpha \in (0; 180)$ и $n < 1$ было получено выражение для расчета оптимального угла конусности

$$\alpha_{opt} = 2 \arcsin \left(\frac{0.03423(1-n^{3.75})}{\left(\frac{1}{\varepsilon}-1\right)^2} \sqrt[4]{\frac{\nu}{V_2 r_2}} + 0.0067 \right)^{\frac{1}{4.45}}, \quad (4)$$

где $n = \frac{r_2}{r_1}$ - характеристика сужения конфузора;

ν - кинематический коэффициент вязкости;

ε - коэффициент сжатия струи;

V_2 - скорость струи на выходе из конфузора ($V_2 = V_{cmp}$).

Отличительным моментом зависимости (4) следует считать то, что она впервые учитывает влияние средней скорости движения жидкости на выходе из конфузора V_2 , вязкости ν и радиуса конфузора r_2 на величину оптимального угла конусности конфузора α_{opt} , который находится в диапазоне $45 \div 50^\circ$ в зависимости от режима обработки.

В четвертой главе показано, что на основании экспериментальных исследований по силовому воздействию струи на преграду установлены оптимальные концентрации компонентов K_b (бентонитовой глины), K_n (полиакриламида), $K_{к.с}$ (кальцинированной соды) в составе рабочей жидкости на основе воды, находящиеся в следующих диапазонах $K_b = 1-3 \%$, $K_n = 10^{-7}-10^{-3} \%$, $K_{к.с} = 0.1-2 \%$.

Представлены результаты экспериментальных исследований процесса ГАО и показана их удовлетворительная сходимость с расчетными данными. Последние были рассчитаны с помощью зависимостей (2), (4), полученных на основе разработанной теории процесса ГАО и предназначенных соответственно для расчета минимального давления разрушения слоя коррозии p_{min} при воздействии на него струи рабочей жидкости и оптимального угла конусности конфузора α_{opt} .

В исследованном диапазоне скоростей струи V_{cmp} ($V_{cmp}=80 \div 365$ м/с) и давлений на входе в конфузор p_{ex} ($p_{ex}=8 \div 85$ МПа) при использовании рабочей жидкости с концентрациями компонентов $K_b=3\%$, $K_n=10^{-5}\%$, $K_{к.с}=2\%$ (остальное вода) и образцов из сталей 08кп и Ст3, были установлены 3 зоны реализации процесса ГАО:

Зона I ($V_{cmp}=80 \div 130$ м/с; $p_{ex} \leq 8 \div 15$ МПа) – практическое отсутствие эффекта очистки поверхности образцов от коррозии;

Зона II ($V_{cmp}=130 \div 250$ м/с; $p_{ex}=15 \div 40$ МПа) – обеспечение гарантированной очистки поверхности от коррозии;

Зона III ($V_{cmp} > 250$ м/с; $p_{ex} > 40$ МПа) – протекание наряду с гарантированной очисткой микропластических поверхностных деформаций, сопровождающихся отрывом поверхностных микрочастиц материала от его основы. В зоне III энер-

гия струи рабочей жидкости является достаточной для совершения работы резания непосредственно на элементарных площадках обрабатываемой поверхности.

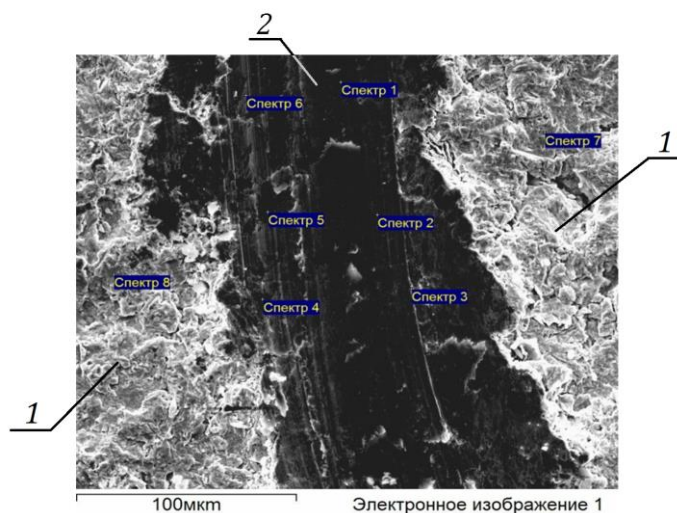
Сравнение экспериментальных величин давления $p_э$ с теоретическими $p_т$ (рассчитываются по уравнению (2)) показывает, что в зоне II расхождение между теорией и экспериментом составляет 15÷19 %, что объясняется особенностью используемого теоретического метода, который на основании принятого разрывного поля линий скольжения позволяет прогнозировать верхнюю оценку давления струи на преграду.

На основании данных по массовому уносу материала установлено, что для используемых рабочих жидкостей ($K_б = 2÷3$ %, $K_п = 10^{-5}$ %, $K_{к.с} = 1,5$ %), подаваемых на обрабатываемую поверхность через конфузор с радиусом на выходе $r_2 = 0,75÷1,5$ мм со скоростями струи $V_{cmp} = 110÷350$ м/с при числах $10^5 > Re > 2320$ величина оптимального угла конусности α_{opt} находится в диапазоне 45÷50°, при котором обеспечивается снижение потерь напора на 5÷7 %, приводящее к соответствующему повышению скорости струи рабочей жидкости.

По результатам проведенных исследований установлено влияние конструктивно-технологических параметров (расстояние L от торцевого выходного сечения конфузора до обрабатываемой поверхности, концентрация компонентов рабочей жидкости, угол конусности конфузора α , давление на входе в конфузор $p_{вх}$, скорость струи V_{cmp}) на шероховатость Ra и микротвердость H_μ обработанной поверхности. Установлено, что за счет применения рабочей жидкости с концентрациями компонентов $K_б = 2÷3$ %, $K_п = 10^{-5}$ %, $K_{к.с} = 1÷2$ % (остальное вода), подаваемой через конфузор с углом $\alpha = 50^\circ$, установленный на расстоянии $L = 30÷50$ мм до очищаемой поверхности, на этой поверхности при скорости струи $V_{cmp} = 200 ÷ 230$ м/с и давлении на входе в конфузор $p_{вх} = 25÷35$ МПа формируется шероховатость $Ra = 0,2÷0,4$ мкм (исходная шероховатость поверхности для образцов из стали 08кп составляла 12÷14 мкм). При указанных условиях очистки обеспечивается незначительное упрочнение поверхностного слоя очищенных образцов, характеризуемое значениями микротвердости $H_\mu = 2000÷2400$ МПа, что всего в 1,2÷1,4 раза превышает значение исходной микротвердости $H_{\mu 0}$ для стали 08кп, и как следствие является оптимальным результатом для осуществления такой последующей операции, как лазерная резка.

При очистке образцов из стали Ст3 от продуктов атмосферной коррозии установлено, что применение рабочей жидкости вышеуказанного состава ($K_б = 2÷3$ %, $K_п = 10^{-5}$ %, $K_{к.с} = 1÷2$ %, остальное вода) при значениях $L = 50÷90$ мм, $V_{cmp} = 170 ÷ 200$ м/с, $p_{вх} = 20÷25$ МПа, при использовании конфузоров с углом $\alpha = 45÷50^\circ$, обеспечивает получение шероховатости Ra на обра-

ботанной поверхности, равной $30\div 50$ мкм, что является оптимальным диапазоном при использовании очищенной поверхности под последующую покраску.



1 – пленочное покрытие; 2 – след индентора после разрушения пленочного покрытия
 Материал Ст 3, состав рабочей жидкости ($K_b = 3\%$, $K_n = 10^{-5}\%$, $K_{к.с} = 2\%$ остальное вода), $L = 50$ мм, $V_{стр} = 210$ м/с, давление $p_{вх} = 26$ МПа

Рисунок 4 – Внешний вид защитного пленочного покрытия на очищенной поверхности стального образца после проведения испытаний на адгезионную прочность

входят в состав бентонитовой глины – основного компонента в рабочей жидкости. Испытание защитного покрытия на коррозионную стойкость показало его высокую сопротивляемость воздействию внешней агрессивной среды (кипячение образцов из сталей 08кп и Ст3, покрытых ЗПП, в 20% растворе $NaCl$ в течение 30 мин не выявило следов разрушения покрытия и наличия повторной коррозии на очищаемой поверхности). Аналогичные испытания для образцов, очищенных струей воды с применением речного песка с концентрацией $K_{р.н.} = 4\%$ показали, что имеет место повторная коррозия через $20\div 30$ мин. после окончания процесса очистки с поражением не менее 75–80 % ранее очищенной площади стальных образцов.

Экспериментальными исследованиями установлена чешуйчатая структура ЗПП, которое после сушки в естественных условиях при комнатной температуре ($T_0 = 20^\circ C$) характеризуется высокой степенью схватывания (адгезионная прочность ЗПП на образцах из сталей Ст3 и 08кп составляет $20\div 30$ МПа) с очищенной поверхностью. Внешний вид ЗПП на очищенной поверхности стального образца после проведения испытаний на адгезионную прочность показан на рисунке 4.

Установлено, что процесс струйной очистки поверхности стальных образцов от коррозии сопровождается одновременным формированием защитного пленочного покрытия (ЗПП) толщиной $\delta = 5\div 7$ мкм, соединенного с очищенной поверхностью силами адгезионного сцепления. Анализ элементного состава пленочного покрытия показал, что оно в основном состоит из тех же элементов ($C = 8.57\text{--}10.67\%$; $Na = 0.10\text{--}0.38\%$; $Mg = 1.05\text{--}1.48\%$; $O = 11.51\text{--}13.87\%$; $Al = 1.70\text{--}2.29\%$; $Si = 5.49\text{--}7.55\%$; $K = 0.31\text{--}0.41\%$; $Ca = 0.48\text{--}0.51\%$; $Fe = 63.25\text{--}70.88\%$), что

Характерной особенностью созданного ЗПП следует считать его низкую стойкость по отношению к воздействию органических растворителей. Например, при воздействии растворителя Р4 на ЗПП, последнее полностью снимается с обработанной поверхности, обнажая при этом выступы микронеровностей, полностью очищенные от коррозии. Указанное свойство ЗПП, основанное на сочетании высокой адгезионной прочности и низкой стойкости по отношению к воздействию органических растворителей может быть весьма эффективно использовано при ГАО деталей с большим межоперационным циклом, особенно, если завершающей операцией цикла является, например, покраска детали.

В пятой главе приводятся сведения по внедрению результатов диссертационной работы в производство и учебный процесс.

Отмечается, что производственные испытания на ОАО «Агат – электро-механический завод» (г. Минск) проводились для четырех сравнительных групп стальных образцов из стали 08кп размерами 100x100 мм и толщиной 1–20 мм, которые подвергались резке на лазерном комплексе "TRUMATIC" с программным управлением и активной средой на основе углекислого газа CO_2 .

Очистка образцов из первой группы производилась по новой разработанной технологии с применением запатентованных составов рабочих жидкостей, содержащих в качестве основного компонента бентонитовую глину ($K_6 = 2 \div 3\%$), с применением давления на входе в конфузор $p_{вх} = 30$ МПа и с формированием защитного покрытия толщиной $\delta = 3 \div 5$ мкм на поверхности, очищенной до $Ra = 0,25 \div 0,5$ мкм и микротвердости $H_\mu = 2000 \div 2400$ МПа. Установка конфузоров с углом конусности $\alpha_{онм} = 45 \div 50^\circ$ производилась на фиксированном расстоянии $L = 50$ мм до обрабатываемой поверхности.

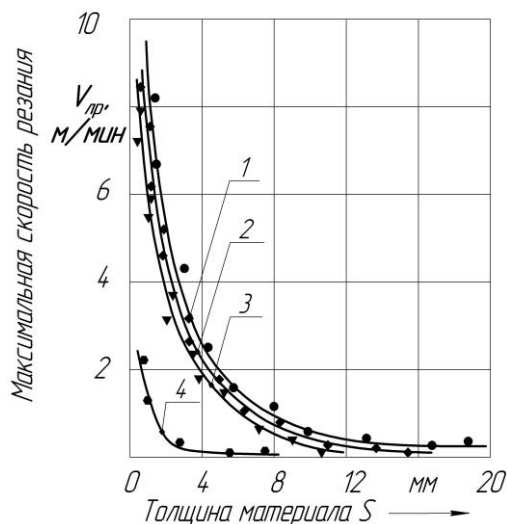
Вторую группу для сравнительных испытаний составили образцы, очищенные по заводской технологии (дробеструйная очистка до шероховатости $Ra = 0,25 \div 0,5$ мкм и микротвердости $H_\mu = 3100 \div 3200$ МПа).

Третью группу составили образцы, изготовленные из материала в состоянии поставки ($Ra = 12 \div 14$ мкм и микротвердость $H_\mu = 1900 \div 2000$ МПа).

Четвертую группу составили образцы, не очищенные от коррозии с величиной $Ra = 70–80$ мкм.

Увеличение скорости лазерной резки (рисунок 5) для образцов первой группы по сравнению, например, с образцами из второй группы объясняется снижением эффекта упрочнения поверхностных слоев после ГАО и наличием на поверхности образцов после ГАО ЗПП, обеспечивающего за счет низкой отражательной способности усиление мощности светового излучения и как результат повышение скорости лазерной резки.

По результатам производственных испытаний установлена целесообразность использования сажи $K_c = 5–12.5\%$ вместо полиакриламида для последующей операции лазерной резки, образцов из стали 08 кп.



1 – $Ra = 0,25 - 0,5$ мкм, образец после ГАО ($K_6 = 3\%$, $K_{п} = 10^{-5}\%$, $K_{к.с} = 2\%$, остальное вода), $p_{вх} = 30$ МПа; $d_k = 1$ мм; $L = 50$ мм; 2 – материал в состоянии поставки, $Ra = 12 - 14$ мкм; 3 – дробеструйная обработка образца по заводской технологии, $Ra = 0,25 - 0,5$ мкм; 4 – отсутствие очистки образца от продуктов коррозии,

1-4-материал-сталь 08кп
Рисунок 5 – Зависимость максимальной скорости лазерной резки от толщины материала

жащих в качестве основного компонента бентонитовую глину ($K_6 = 2 \div 3\%$), с применением давления на входе в конфузор $p_{вх} = 30$ МПа и с формированием защитного покрытия $\delta = 5 \div 7$ мкм на поверхности, очищенной до $Ra = 30 \div 50$ мкм. Установка конфузоров с углом конусности $\alpha = 45 \div 50^\circ$ производилась на расстоянии $L = 50 - 100$ мм до обрабатываемой поверхности детали (материал Ст3). Экономический эффект от внедрения новой технологии очистки для 10-ти корпусов судов, проходящих ремонт на заводе в течении года, составляет 64 млн. руб. в ценах на 28 сентября 2011г.

Результаты работы внедрены в учебный процесс в качестве дидактического материала по дисциплине «Технологии судостроения» на кафедре «Кораблестроение и гидравлика» БНТУ.

Разработанная технология позволила модернизировать технологический процесс изготовления деталей ЦИКС.745422.057 кронштейн в производственных условиях ОАО «Агат – электромеханический завод» и, как следствие, получить повышение производительности труда на 10 – 20%. Экономический эффект от внедрения разработанной технологии ГАО на ОАО «Агат – электромеханический завод» составляет 53,5 млн. рублей по состоянию на 15 июля 2011 года.

Приведены результаты производственных испытаний на ОАО «Пинский ССРЗ» (г. Пинск). В производственных условиях были очищены детали типа «Кница» (номенклатура ОАО «Пинский ССРЗ») с последующим их использованием под покраску. Очистка деталей производилась по новой технологии с применением запатентованных составов рабочих жидкостей, содержащих

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. В результате экспериментальных исследований влияния концентрации компонентов рабочей жидкости на силовое воздействие струи в процессе гидроабразивной очистки, установлено, что оптимальные концентрации компонентов K_{δ} (бентонитовой глины); K_n (полиакриламида), $K_{кс}$ (кальцинированной соды), остальное вода, обеспечивающие очистку с максимальным силовым воздействием, находятся в следующих пределах: $K_{\delta} = 1-3\%$; $K_n = 10^{-7}-10^{-3} \%$, $K_{кс} = 0,1-2 \%$ [1, 4-8, 12-16, 18].

2. В результате реализации разработанной математической модели процесса силового взаимодействия струи с преградой из слоя коррозионных отложений, учитывающей как кинематические параметры струи, так и физико-механические свойства разрушаемого материала, получена зависимость минимального давления разрушения от кинематических параметров струи, на основании которой установлено, что разрушающее действие струи начинает проявляться при скорости порядка 50 м/с, а при скорости более 200 м/с может иметь место разрушение материала основы [3, 4, 9].

3. В результате решения вариационной задачи по минимизации потерь напора рабочей жидкости в канале гладкостенного конфузора (число Рейнольдса $4000 < Re < 100000$), учитывающей радиусы конфузора, вязкость рабочей жидкости, ее среднюю скорость, установлено, что оптимальные значения угла конусности конфузора, обеспечивающие максимальное струйное давление рабочей жидкости на очищаемую поверхность, находятся в пределах $\alpha_{opt} = 45-50^\circ$ [2, 10, 11, 19, 21].

4. В результате экспериментальных, подтвержденных теоретически исследований влияния струйного давления на очищаемую поверхность установлено, что гарантированная очистка поверхности от коррозии без повреждения поверхности металла обеспечивается при скоростях струи $V_{cmp} = 130-250$ м/с и значениях давления на входе в конфузор $p_{ex} = 15-40$ МПа.

При этом оптимальная, для последующей операции лазерной резки, шероховатость ($Ra = 0,2-0,4$ мкм) с минимальным уровнем упрочнения стальной поверхности H_{μ} , которая не превышает исходные значения $H_{\mu 0}$ более чем в 1,2-1,4 раза, обеспечивается при гидроабразивной обработке со скоростями $V_{cmp} = 200-250$ м/с, давлением $p_{ex} = 25-40$ МПа, на расстоянии $L=20-50$ мм, а оптимальные режимы под последующую операцию окраски ($Ra = 30-50$ мкм) находится в пределах $V_{cmp} = 153-200$ м/с, $p_{ex} = 20-25$ МПа, $L = 50-90$ мм [5-7, 12, 14, 16].

5. В результате влияния ГАО на формирование защитного пленочного покрытия установлено, что при оптимальных режимах обработки толщина покрытия составляет $\delta = 3-7$ мкм, при этом оно имеет чешуйчатую структуру, вы-

сокую коррозионную стойкость и адгезионную прочность, достигающую значений 20–30 МПа, при одновременном практическом отсутствии сопротивления к воздействию органических растворителей. Установлено, что наличие указанного покрытия обеспечивает повышение скорости лазерной резки на 10–20 % для стальных образцов, что объясняется низкой его отражательной способностью [17, 18, 20, 22].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанная технология гидроабразивной очистки и защиты стальных изделий от коррозии с использованием в составе рабочей жидкости бентонитовой глины может применяться на машиностроительных предприятиях для повышения производительности труда за счет увеличения скорости лазерной резки и образования защитного антикоррозионного покрытия. Промышленное внедрение разработанной технологии было проведено на ОАО «Агат – электромеханический завод» и ОАО «Пинский ССРЗ». Согласно актам о практическом использовании результатов исследований экономический эффект от внедрения данной технологии составил 53,5 млн. рублей по состоянию на 15.07.2011г. и Br64 млн. руб. в год по состоянию на 28.09.2011г. соответственно. Результаты диссертационной работы согласно акту внедрения используются также в учебном процессе по дисциплине «Технологии судостроения» на кафедре «Кораблестроение и гидравлика» БНТУ.

Перспективой дальнейшего развития разработанных технологий ГАО может быть их применение для подготовки поверхностей под плазменную резку, газопламенное напыление, сварку и т.д.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях

1. Экспериментальный стенд для струйной обработки металлических поверхностей / И.В. Качанов, В.К. Недбальский, И.В. Карпенчук, А.В. Филипчик // Агропанорама. – 2005. – № 1. – С. 22–23.
2. Расчет оптимального угла конусности конфузора / И.В. Качанов, В.В. Веремеиук, А.С. Мойса, А.В. Филипчик // Агропанорама. – 2005. – № 5. – С. 7–10.
3. Качанов, И.В. Математическая модель расчета давления рабочей жидкости на преграду, имеющую вид слоя коррозионных отложений / И.В. Качанов, А.С. Мойса, А.В. Филипчик // Агропанорама. – 2007. – № 1. – С. 5–9.
4. Качанов, И.В. Теоретические и экспериментальные исследования по определению струйного давления рабочей жидкости на обрабатываемую плоскую поверхность / И.В. Качанов, А.В. Филипчик // Наука и техника. – 2012. – № 1. – С. 79–85.
5. Технология струйной гидроабразивной очистки от коррозии стальных листов, предназначенных под лазерную резку / И.В. Качанов, А.В. Филипчик, А.М. Шейко, А.А. Рубченя, С.И. Ушев // Наука и техника. – 2013. – № 2. – С. 7–14.

Материалы научных конференций

6. Качанов, И.В. Прогнозирование оптимальных кинематических и силовых параметров струйной очистки стальных поверхностей от коррозии / И.В. Качанов, А.В. Филипчик // Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин : материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 25-летию кафедры «Гидропневоавтоматика и гидропневопривод» БНТУ, Минск, 17–19 ноября 2010 г. / БНТУ. – Минск, 2010. – С. 94–100.
7. Качанов, И.В. Применение струйной обработки под давлением более 15 МПа для подготовки стальных поверхностей под лазерную резку / И.В. Качанов, А.В. Филипчик // Современные проблемы гидропневмосистем машин: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию создания автотракторного факультета БНТУ, Минск, 24–28 октября 2011 г. / БНТУ. – Минск, 2011. – С. 28–34.
8. Установка для обработки металлических поверхностей кавитирующими водополимерными струями / И.В. Качанов, И.В. Карпенчук, В.К. Недбальский, А.В. Филипчик // Наука – образованию, производству, экономике : мате-

риалы 2-й Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 т. / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2004. – Т.1. – С. 101–103.

9. Качанов, И.В. Математическая модель расчета давления рабочей жидкости на преграду, имеющую вид поверхностного слоя коррозии / И.В. Качанов, А.В. Филипчик // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 4-й Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 т. / БНТУ ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2006. – Т.1. – С. 407–409.

10. К вопросу определения геометрических параметров струйного аппарата для гидроабразивной очистки корпусов судов от коррозии /И.В. Качанов, В.Н. Яглов, В.Ф. Клищевский, А.В. Филипчик, А.Н. Жук, А.Н. Щерба // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 5-й Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 т. / БНТУ ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2007. – Т.1. – С. 343–347.

Тезисы докладов на конференциях

11. Качанов, И.В. Решение вариационной задачи по минимизации потерь напора в конфузоре / И.В. Качанов, В.В. Верременюк, А.В. Филипчик // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 3-й Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 т. / БНТУ ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2006. – Т.1. – С. 462–463.

12. Филипчик, А.В. Новая технология очистки поверхности металла от коррозии / А.В. Филипчик // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 8-й Междунар. науч.-техн. конф. : в 4 т. / БНТУ ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2010. – Т.2. – С. 131.

13. Филипчик, А.В. Технология гидроабразивного воздействия / А.В. Филипчик // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация : материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 т. / МЧС РБ. – Минск, 2011. – Т.2. – С. 291–292.

14. Филипчик, А.В. Новая технология струйной очистки и защиты стальных поверхностей от коррозии / А.В. Филипчик // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 9-й Междунар. науч.-техн. конф. : в 4 т. / БНТУ ; редкол. : Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2010. – Т.2. – С. 150.

15. Оценка качества стальной поверхности после струйной обработки под высоким давлением 15–30 МПа /И.В. Качанов, А.В. Филипчик, В.В. Власов, С.О. Мяделец // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 9-й Междунар. науч.-техн. конф. : в 4 т. / БНТУ ; редкол. : Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2007. – Т.2. – С. 151.

16. Филипчик, А.В. Подготовка стальных листов под лазерную резку на основе использования гидроабразивной обработки / А.В. Филипчик, А.А. Руб-

ченя, С.И. Ушев // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф. : в 4 т. / БНТУ ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2012. – Т.2. – С. 173.

17. Филипчик, А.В. Техничко-экономическое обоснование для применения ГАО на некоторых промышленных предприятиях Республики Беларусь / А.В. Филипчик, С.И. Ушев, А.А. Рубченя // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф. : в 4 т. / БНТУ ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2012. – Т.2. – С. 174.

Патенты

18. Способ создания кавитирующей струи жидкости : пат. 13312 Респ. Беларусь, МКИ В 08В 3/04, В 63В 59/00 / И.В. Качанов, В.Н. Яглов, В.К. Недбальский, А.В. Филипчик; заявитель Белорус. нац. техн. ун-т. - № а 20081284; заявл. 14.10.2008; опубл. 30. 06. 2010 // Официальн. бюл. / Нац. центр интеллектуал. собственности. – 2010. – № 3. – С. 70.

19. Устройство для формирования многокомпонентной кавитирующей струи жидкости : пат. 6833 Респ. Беларусь, МКИ В 08В 3/02, В 08В 3/04, В 63В 59/00 / И.В. Качанов, В.В. Веремеvюк, А.С. Мойса, А.В. Филипчик ; заявитель Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т. - № и 20100406; заявл. 23.04.2010 ; опубл. 30.12.2010 // Официальн. бюл. / Нац. центр интеллектуал. собственности. – 2010. – № 6. – С. 159–160.

20. Способ создания кавитирующей струи жидкости: пат. 14239 Респ. Беларусь, МКИ В 08В 3/04, В 63В 59/00 / И.В. Качанов, В.К. Недбальский, И.М. Шаталов, А.В. Филипчик; заявитель Белорус. нац. техн. ун-т. - № а 20090681; заявл. 12.05.2009; опубл. 30. 04. 2011 // Официальн. бюл. / Нац. центр интеллектуал. собственности. – 2011. – № 2. – С. 70.

21. Устройство для формирования многокомпонентной кавитирующей струи жидкости: пат. 7969 Респ. Беларусь, МКИ В 08В 3/02, МКИ В 08В 3/04, В 63В 59/08 / И.В. Качанов, В.В. Веремеvюк, А.В. Филипчик, С.И. Ушев, А.А. Рубченя; заявитель Белорус. нац. техн. ун-т. - № и 20110544; заявл. 04.07.2011 ; опубл. 28. 02. 2012 // Официальн. бюл. / Нац. центр интеллектуал. собственности. – 2011. – № 1. – С. 214.

22. Состав для подготовки металлической поверхности под лазерную резку: решение о выдаче патента на изобретение Респ. Беларусь от 27.06.2013г., МКИ В 08В 3/02, МКИ В 08В 3/04, В 63В 59/08 / И.В. Качанов, А.В. Филипчик, А.С. Мойса, В.Н. Яглов, Я.В. Филипчик, В.В. Шаповалов; заявитель Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т. - № а 20111188; заявл. 12.09.2011.

РЭЗІЮМЭ

Філіпчык Аляксей Вячаслававіч

Тэхналогія струменнай гідраабразіўнай ачысткі і аховы сталёных вырабаў ад карозіі з выкарыстаннем у складзе рабочай вадкасці бентанітавай гліны

Ключавыя словы: карозія, ачыстка, сталь, паверхня, струмень, рабочая вадкасць, шурпатасць, мікрацвёрдасць, адгезійная трываласць, тэхналогія.

Мэтай працы з'яўляецца распрацоўка тэхналогіі струменнай гідраабразіўнай ачысткі і аховы сталёных вырабаў ад карозіі з выкарыстаннем у складзе рабочай вадкасці бентанітавай гліны, якая забяспечвае фарміраванне антыкаразійнага ахоўнага пакрыва са святлопаглынальнымі якасцямі на ачышчанай паверхні.

Метады даследавання: матэматычнае мадэляванне, лабараторны эксперымент, аналіз тэарэтычных і эксперыментальных дадзеных, вымярэнне ціску пры ўздзеянні струменя на перашкоду, даследаванне шурпатасці, мікрацвёрдасці і адгезійнай трываласці.

Атрыманыя вынікі. Прапанавана матэматычная мадэль разліку мінімальнага верхнямежавага ціску, выклікаючага разбурэнне слою карозіі пры ўздзеянні на яго струменя рабочай вадкасці, якая дазваляе на аснове атрыманых ураўненняў разлічваць ціск і хуткасць струменя, неабходныя для разбурэння каразійнага слою з мінімальнымі энергасатратамі.

Распрацавана тэхналогія струменнай ГАА, пры прымяненні якой адначасова з ачысткай адбываецца фарміраванне паверхні з зададзенымі параметрамі якасці (па шурпатасці і мікрацвёрдасці) і высокімі эксплуатацыйнымі характарыстыкамі (вынік стварэння на паверхні антыкаразійных, святлопаглынальных пакрыццяў), якія адпавядаюць патрабаванням наступных аперацый (лазерная рэзцы, афарбоўцы), што дазваляе павысіць прадукцыйнасць працы на 10-20 %, знізіць энергаспажыванне на 10-15 %, павялічыць струменны ціск на апрацоўваемую паверхню на 25-35 %.

Ступень выкарыстання: вынікі працы ўкаранены ў вытворчасць на ААТ «Агат-электрамеханічны завод» і ААТ «Пінскі ССРЗ» – эканамічны эфект ад укаранення склаў Вг 53,5 млн. рублёў па стану на 15.07.200 і Вг 64 млн. руб. у год па стану на 28.09.2011 г. адпаведна.

РЕЗЮМЕ

Филипчик Алексей Вячеславович

Технология струйной гидроабразивной очистки и защиты стальных изделий от коррозии с использованием в составе рабочей жидкости бентонитовой глины

Ключевые слова: коррозия, очистка, сталь, поверхность, струя, рабочая жидкость, шероховатость, микротвердость, адгезионная прочность, технология.

Целью работы является разработка технологии струйной гидроабразивной очистки и защиты стальных изделий от коррозии с использованием в составе рабочей жидкости бентонитовой глины, обеспечивающей формирование антикоррозионного защитного покрытия со светопогложительными свойствами на очищенной поверхности.

Методы исследования: математическое моделирование, лабораторный эксперимент, анализ теоретических и экспериментальных данных, измерение давления при воздействии струи на преграду, исследование шероховатости, микротвердости и адгезионной прочности.

Полученные результаты. Предложена математическая модель расчета минимального верхнеграницного давления, вызывающего разрушение слоя коррозии при воздействии на него струи рабочей жидкости, позволяющая на основе полученного уравнения рассчитывать давление и скорость струи, необходимые для разрушения коррозионного слоя с минимальными энергозатратами.

Разработана технология струйной ГАО, при применении которой одновременно с очисткой происходит формирование поверхности с заданными параметрами качества (по шероховатости и микротвердости) и высокими эксплуатационными характеристиками (результат создания на поверхности антикоррозионных, светопогложительных покрытий), отвечающих требованиям последующих операций (лазерной резки, покраски), что позволяет повысить производительность труда на 10–20%, снизить энергопотребление на 10–15 %, увеличить струйное давление на обрабатываемую поверхность на 25–35%.

Степень использования: результаты работы внедрены в производство на ОАО «Агат – электромеханический завод» и ОАО «Пинский ССРЗ». Экономический эффект от внедрения составил Br53.5 млн. рублей по состоянию на 15.07.2011 года и Br64 млн. руб. в год по состоянию на 28.09.2011г. соответственно.

SUMMARY

Filipchyk Aliaksei

The technology of abrasive jetting and steelwork protection from corrosion via using bentonite clay as power fluid component

Key words: corrosion, jetting, steel, surface, power fluid, roughness, microhardness, adhesive power, technology.

The objective of work is to develop technology of abrasive jetting and steelwork protection from corrosion via using bentonite clay as power fluid component, forming anticorrosion protective coating with light absorbing properties on clean surface.

Research methods: mathematic simulation, laboratory experiment, analysis of theoretic and experimental data, measuring pressure under jet action on barrier, roughness, microhardness, and adhesive power analysis.

The results obtained. There was suggested a mathematical model to calculate the minimal upper pressure causing corrosion layer destruction under fluid power jet action and to evaluate jet pressure and velocity required for corrosion layer destruction with lowest energy consumption.

There was developed the technology of abrasive jetting that allows not only to refine but also to form the surface with set-up quality parameters (ones of roughness and microhardness) and high performance characteristics (as a result of creating anti-corrosion and light absorbing surface coating) meeting the demands of successive operations (laser cutting, painting). The technology increases labour efficiency by 10–20% , decreases energy consumption by 10–15%, and surges jetting pressure on work surface by 25–30%.

Efficiency: the results of work are introduced into production in the OJSC “Agate – Electromechanical Plant” and the PTC “Pinsk Shipyard”. Economic efficiency of the implementation made up Br53.5 million as of July, 15th, 2011 and Br64 million as of September, 28th, 2011 respectively.