

На правах рукописи

Бланк Евгений Давыдович

**Разработка и исследование детонационных покрытий с  
повышенными эксплуатационными свойствами.**

Специальность 05.03.06 – технологии и машины сварочного производства

Автореферат диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург

2003

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете.

НАУЧНЫЕ РУКОВОДИТЕЛИ :

доктор технических наук, профессор

БАШЕНКО

Всеволод Владимирович

доктор технических наук, профессор

КЛУБНИКИН

Валерий Степанович

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

доктор технических наук, профессор

СУЗДАЛЕВ

Игорь Владимирович

кандидат технических наук,

старший научный сотрудник

ШАРОНОВ

Евгений Анатольевич

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ: Государственное унитарное предприятие Научно-производственное объединение "**Винт**".

Защита состоится 20 июня 2003 г., в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.03 в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете по адресу: Санкт-Петербург, ул. Политехническая 29, химический. корпус, ауд. 51.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СПбГПУ.

Автореферат разослан 12 мая 2003 г.

Заместитель председателя диссертационного совета,

доктор технических наук, профессор

Башенко В.В.

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы.** В современной технике широкое применение находят газотермические методы нанесения покрытий, основанные на использовании высокотемпературных газовых потоков, в которых частицы напыляемого материала, нагреваясь и приобретая высокую скорость, взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью, формируя покрытие.

При детонационном напылении ускорение и нагрев частиц осуществляется газовым потоком, образуемым продуктами детонации, получаемыми при периодическом взрыве газовой смеси. Так как продукты детонации обладают высокой тепловой энергией и скоростью, а время их истечения очень мало, достигается высокое качество получаемых покрытий при незначительном тепловом воздействии на обрабатываемую деталь.

Это обуславливает эффективное применение детонационных покрытий для защиты поверхности узлов и деталей в наиболее ответственных изделиях машиностроения. Широкое внедрение детонационных покрытий сдерживается тем, что многие узлы и детали современного оборудования работают при воздействии нагрузок, значения которых значительно превышают предельно допустимые для типовых детонационных покрытий. Для расширения области применения детонационных покрытий необходимо значительное повышение их свойств (прочность сцепления, износостойкость). Одним из наиболее эффективных способов решения этой проблемы является разработка многослойных покрытий, имеющих градиентное строение, характерной особенностью которого является изменение химического состава, структуры и свойств по толщине покрытия. Это позволяет уменьшить различие физико-механических свойств покрытия и основы, и, соответственно, увеличить прочностные характеристики таких композиций. В настоящее время градиентные детонационные покрытия не нашли практического применения из-за отсутствия необходимого оборудования и технологии. Для их создания необходимо более полное изучение влияния параметров детонационного

потока на физико-механические свойства формируемых покрытий, создание методов формирования градиентных структур и технологии их напыления, разработка надёжных конструкций узлов, систем управления и контроля детонационных установок для реализации этих методов.

**Цель и задачи работы.** Основной целью работы являются разработка детонационных покрытий с повышенными свойствами для работы в условиях воздействия высоких нагрузок, создание оборудования и технологии для их нанесения, исследование свойств разработанных покрытий.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать детонационное оборудование и аппаратуру, позволяющих в процессе напыления изменять параметры детонационного потока по заданным программам и измерять их значения.

2. Экспериментально исследовать влияние параметров детонационного процесса на свойства получаемых покрытий.

3. Разработать методы формирования градиентных детонационных покрытий и определить технологические режимы их получения.

4. Исследовать свойства полученных градиентных покрытий.

Методологической основой диссертации послужили научные работы А.И. Зверева, С.С. Бартенева, Ю.П. Федько, П.Ю. Гуляева, М.И. Анисимова, В.С. Клубника, И.М. Галеева, Ю.А. Харламова, А.В. Долматова, В.И. Яковлева, Г.И. Пивоварова и других исследователей.

**На защиту выносятся:**

1. Результаты экспериментального исследования зависимости свойств различных покрытий (ПН70Ю30 и  $Al_2O_3$ ) и их анализ в зависимости от изменения параметров процесса детонационного напыления.

2. Результаты разработки методов формирования и технологии напыления керамических и металлокерамических градиентных покрытий.

3. Результаты экспериментального исследования структуры и свойств разработанных детонационных градиентных покрытий.

**Научная новизна.** Впервые предложен способ формирования оксидного детонационного покрытия за счёт наложения единичных пятен друг на друга с интервалом не более  $10^{-2}$  с, обеспечивающий изменение скорости охлаждения частиц в покрытии и, как следствие, увеличение содержания фазы  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  до 20%, что позволяет повысить его твёрдость и износостойкость. Экспериментально установлена зависимость содержания фазы  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  в детонационном покрытии от интервала между наложением единичных пятен друг на друга, что позволило впервые разработать технологию формирования структур, имеющих градиентное дискретное строение, в которых фазовый состав оксида алюминия постепенно изменяется по толщине покрытия (от 3%  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  на границе раздела покрытие-основа до 20%  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  в наружном слое), что обеспечило сочетание высоких значений твёрдости и прочности сцепления. Разработана система определения энергетических характеристик детонационного потока методом оптической регистрации теплового излучения, которая позволила получить новые данные о распределении скоростей частиц вдоль потока, характере изменения средней скорости частиц в процессе напыления, определить концентрацию частиц в порошковом облаке, уточнить зависимость скорости частиц от времени ввода порошка в ствол пушки. Экспериментально определены зависимости свойств керамических и металлических детонационных покрытий от технологических режимов напыления, на основании которых впервые предложен и апробирован метод получения металлокерамических структур одновременным наложением "единичных" керамических и металлических пятен друг на друга, наносимых из разных стволов установки и при различных технологических параметрах, оптимальных для каждого напыляемого материала. В результате экспериментальных исследований впервые установлена зависимость между характеристиками контактной прочности и критерием износостойкости для твёрдых материалов покрытий, что позволило в сочетании с результатами исследований трещиностойкости разработать для тяжело нагруженных узлов

трения металлокерамические градиентные структуры с последовательным изменением содержания металлической и керамической составляющих по толщине покрытия. Впервые создан стенд для нанесения градиентных детонационных покрытий, включающий двустольную детонационную установку и аппаратуру для измерения температурно-скоростных параметров детонационного потока, который обеспечивает исследование и разработку технологических процессов напыления градиентных покрытий.

**Практическая значимость.** Результаты проведённых экспериментальных исследований и разработок позволили определить диапазоны параметров детонационного процесса, обеспечивающие формирование покрытий с высокими значениями эксплуатационных свойств. Разработаны узлы детонационной пушки, аппаратура контроля параметров детонационного процесса и программное обеспечение. Созданы методы получения и технология напыления различных градиентных структур, сочетающих высокие значения различных свойств покрытий. Это позволяет значительно расширить диапазон применения детонационных покрытий в различных областях техники.

**Достоверность полученных результатов.** Достоверность полученных результатов подтверждается проведёнными экспериментами. При проведении экспериментов использовались апробированные методы определения износостойкости, фазового и структурного состояния покрытий, их механических свойств (микротвёрдости и критического коэффициента интенсивности напряжений  $K_{Ic}$ ), прочностных характеристик (прочность сцепления и контактная прочность). Результаты испытаний показали достаточно высокое качество получаемых покрытий. Эффективность разработанного оборудования подтверждается его успешной эксплуатацией в условиях промышленного производства.

**Апробация работы.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались: на международной научно-технической конференции

"Напыление и покрытия-95" Санкт-Петербург 1995; на семинаре "Судпром нефтегазовым компаниям" Москва 1998; на международной научно-технической конференции "Пластическая, термическая и термомеханическая обработка современных металлических материалов" Санкт-Петербург 1999; на научно-техническом семинаре "Полимерные композиты в триботехнике. Проблемы создания и применения. Опыт эксплуатации" Санкт-Петербург 2000; на 6-ой международной научно-технической конференции "Плёнки и Покрытия 2001" Санкт-Петербург 2001.

**Публикации.** Основные результаты работы изложены в работах, опубликованных в научных журналах, трудах научно-технических конференций, патентах РФ, авторских свидетельствах СССР.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка используемой литературы. Полный объём диссертации составляет 133 страницы, 41 рисунок и 16 таблиц.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность работы, основные цели и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость, сформулированы основные положения выносимые на защиту.

**В первой главе** сделан обзор существующего детонационного оборудования, рассмотрен механизм формирования детонационных покрытий, проанализированы их свойства и основные направления их улучшения.

Рассмотрены различные конструкции основных узлов детонационных установок и показано их влияние на процесс формирования покрытий.

Установлены важнейшие технологические параметры, влияющие на свойства получаемых покрытий.

Проведён сравнительный анализ различных систем и датчиков для измерения и контроля параметров детонационного процесса, который показал, что наиболее перспективными являются оптические системы, построенные на базе оптоэлектронных преобразователей.

Во второй главе приведено описание разработанной установки для детонационного напыления (рис. 1).

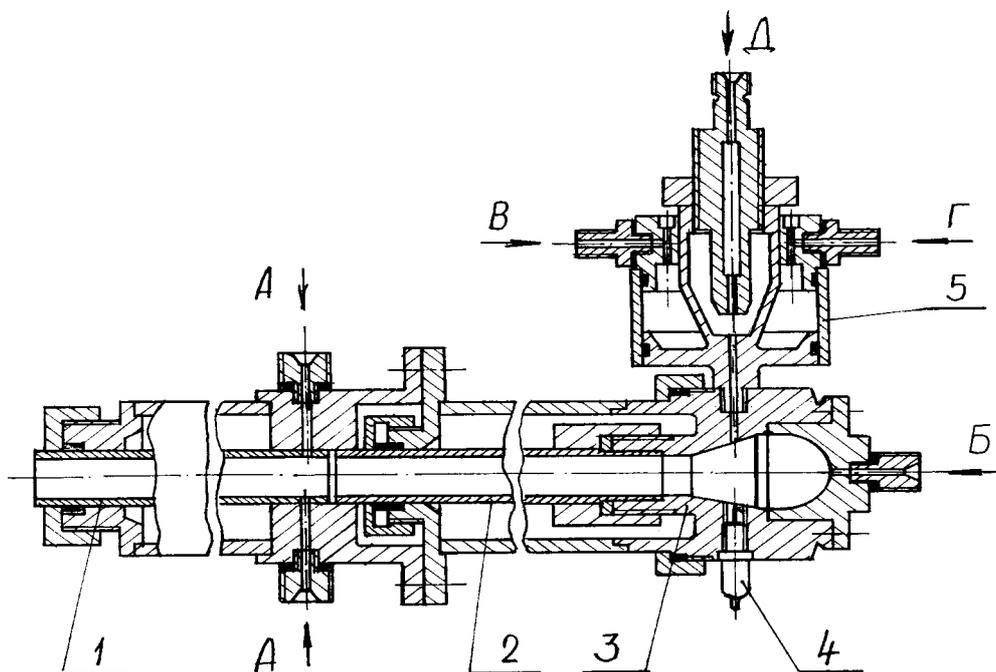


Рис. 1. Детонационная установка для нанесения покрытий. 1 – секция ствола I; 2 – секция ствола II; 3- камера сгорания; 4 – свеча искровая; 5 – смеситель газов; А - канал поперечного ввода порошка; Б - канал продольного ввода порошка; В - канал ввода горючего газа; Г - канал ввода окислителя; Д – канал ввода газа-разбавителя.

Ствол пушки выполнен в виде двух секций (1,2). Это позволяет, изменяя длину ствола, выбирать оптимальные режимы напыления для различных материалов покрытий. В конструкции пушки предусмотрены поперечные (А) и продольные (Б) каналы подачи порошковых материалов. Программное изменение времени включения-выключения порошковых дозаторов позволяет изменять положение порошкового облака в стволе в момент инициирования взрыва, а также дозу порошка в каждом цикле напыления, обеспечивая различные условия формирования покрытий.

Представлена методика измерения температурно-скоростных параметров детонационного потока, основанная на оптической регистрации теплового излучения частиц порошка в различных измерительных сечениях двухфазного

потока, задаваемых светоприёмниками, установленными на определённом (базовом) расстоянии друг от друга. Излучение пролетающих частиц детонационного потока последовательно попадает в светоприёмники и воздействует на фотодиоды, которые генерируют ток  $I_{\phi}(t)$ , определяемый выражением:

$$I_{\phi}(t) = S_{ia} P(t) , \quad (1)$$

где:  $S_{ia}$ -чувствительность фотодиода, А/Вт;  $P(t)$  – мощность излучения, Вт.

Мощность излучения зависит от температуры и площади поверхности частиц порошка в поле зрения фотодиода. Выбирая соответствующие светофильтры, можно добиться воздействия на фотоприёмники излучений узкого спектрального диапазона, отделив воздействие излучения частиц порошка от воздействия излучения газов. Тогда, при стабильно подаваемой в процессе напыления дозе порошка, амплитуда сигнала с выхода каналов измерения будет определяться температурой частиц.

Определение скорости осуществляется время-пролётным методом:

$$V = \Delta S / t_{\text{зад.}}, \quad (2)$$

где  $\Delta S$ -базовое расстояние, м;  $t_{\text{зад.}}$ - время транспортной задержки, с;

Для определения  $t_{\text{зад.}}$  интегрируются данные интенсивности излучения по интервалу следования детонационного потока в обоих измерительных сечениях. По полученным расходным характеристикам измеряется время транспортной задержки при прохождении измерительных сечений одинаковыми порциями порошка.

Для оценки эксплуатационных свойств покрытий были использованы характеристики их износостойкости, фазового и структурного состояния, а также микромеханических и прочностных свойств. При определении микромеханических характеристик, помимо микротвёрдости, определялась трещиностойкость покрытий по методике Эванса. Для её оценки использован критический коэффициент интенсивности напряжений  $K_{Ic}$ , характеризующий интенсивность напряжений у вершины трещины, когда возникает её

нестабильный рост. Для оценки прочностных характеристик выбран штифтовой метод определения прочности сцепления с основой. Кроме того, был использован метод определения контактной прочности, путём вдавливания в покрытие штампа с цилиндрической поверхностью до появления трещины при нагружении нормальным сжатием.

Сделан вывод о том, что выбранные методы исследований позволяют достаточно полно оценить эксплуатационные свойства покрытий.

**В третьей главе** исследуется влияние параметров детонационного процесса напыления на свойства покрытий.

Были определены оптимальные значения количества газов рабочей смеси ( $C_3H_8$  и  $O_2$ ) и их соотношения для оксидных ( $Al_2O_3$ ) и металлических (ПН70Ю30) материалов покрытий, обеспечивающие наибольшую прочность сцепления покрытия с основой. Показано, что отклонение от этих значений в процессе напыления приводит к значительному ухудшению получаемых свойств. Очевидно, это связано с тем, что при изменении состава газов меняются не только скорость и температура напыляемых частиц, но также процессы химического взаимодействия их с продуктами детонации. Было исследовано влияние времени включения порошкового клапана ( $t_{вкл.}$ ), на среднюю скорость и температуру напыляемых частиц (рис. 2).

Напыление проводилось при продольной подаче порошка ( $Al_2O_3$ ) фракции 20-40 мкм, соотношении газов рабочей смеси 1:4, дистанции напыления 120 мм и длительности включения порошкового клапана 30 мс.

Анализ результатов этих исследований показал, что температура частиц имеет максимальное значение при  $t_{вкл.}=25$  мс и затем монотонно снижается, в то время как скорость частиц достигает максимального значения при  $t_{вкл.}=130$  мс, после чего незначительно падает. Это позволило сделать вывод, что, изменяя время включения клапана транспортирующего газа в диапазоне 25-225 мс, можно в широких пределах менять скорость и температуру частиц, и, следовательно, свойства получаемых покрытий.

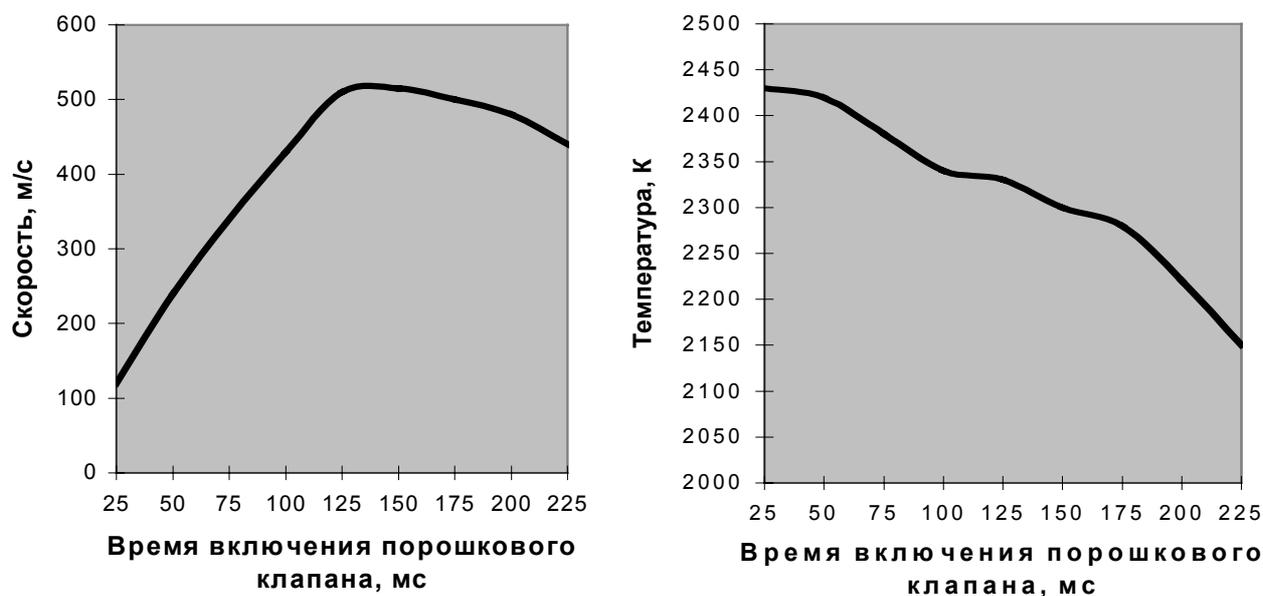


Рис.2. Зависимость скорости и температуры частиц от времени включения порошкового клапана.

Было рассмотрено влияние скорости частиц на свойства напыляемых покрытий. Результаты исследований показывают, что с ростом скорости частиц, прочность сцепления покрытий из  $Al_2O_3$  монотонно возрастает, а микротвёрдость возрастает до максимума, а затем значение её снижается. Очевидно, это связано с условиями кристаллизации  $Al_2O_3$  в процессе формирования покрытия, в результате чего меняется содержание модификации  $\alpha-Al_2O_3$ . В то же время, для ПН70Ю30 прочность сцепления и микротвёрдость монотонно возрастают при увеличении скорости напыляемых частиц. Экспериментальные исследования "металлизационного" потока для оксидных ( $Al_2O_3$ ) и металлических (ПН70Ю30) порошков по интервалу его развития показали, что скорость частиц колеблется от 500 м/с в начале потока до 200 м/с в конце. Было установлено, что средняя скорость и температура частиц достигает максимальных установившихся значений через 15-20 выстрелов от начала процесса. Исходя из этого, был сделан вывод о необходимости защиты напыляемой поверхности от попадания на неё первых "единичных" пятен.

В четвёртой главе рассмотрены методы формирования градиентных покрытий и технологические режимы их получения.

Разработаны методы формирования керамических детонационных градиентных структур на основе  $Al_2O_3$  за счёт изменения фазового состава материала покрытия по его толщине. Скорости охлаждения частиц при детонационном напылении таковы ( $10^{-5}$ - $10^{-6}$  К°/с), что покрытие состоит в основном из неравновесной  $\gamma$ -фазы  $Al_2O_3$  (95-97%) с остаточным содержанием  $\alpha$ -фазы  $Al_2O_3$ . Модификация  $\alpha$ - $Al_2O_3$  имеет более высокие прочностные свойства и износостойкость, тогда как  $\gamma$ - $Al_2O_3$  относительно более пластичен и обеспечивает более высокую прочность сцепления при напылении. Для увеличения содержания  $\alpha$ - $Al_2O_3$  предложен способ формирования покрытия сериями многослойных пятен, каждое из которых получают наложением единичных пятен друг на друга с интервалом ( $t_{зад.}$ ) не более  $10^{-2}$ , наносимых из различных стволов. При этом температура в единичных пятнах при их наложении возрастает, а скорость внутреннего охлаждения уменьшается. Свойства получаемых покрытий приведены в табл. 1.

Табл. 1. Свойства детонационных покрытий на основе  $Al_2O_3$  в зависимости от времени задержки ( $t_{зад.}$ ) между выстрелами.

Время задержки, мс	Прочность сцепления, МПа	Микротвёрдость, Гпа	Содержание $\alpha$ - $Al_2O_3$ , %
0	37	13,6	6
5	35	15,1	13
10	34	16,8	20
15	36	15,4	15
20	38	14,2	12
25	40	13,4	8
30	43	12,7	5
35	43	12,8	3

На основании анализа полученных результатов были разработаны градиентные покрытия, в которых содержание  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  в каждом слое последовательно увеличивалось от подложки к поверхности. Была исследована зависимость трещиностойкости ( $K_{1c}$ ) и контактной прочности от числа смежных слоёв из которых состоит покрытие и величины  $\Delta t_{\text{зад}}$  (табл. 2).

Табл. 2. Значения свойств градиентных керамических покрытий.

Число слоёв; $\Delta t_{\text{зад}}$ , мс	Расстояние от основы, мкм	Трещиностойкость ( $K_{1c}$ ), Мн / м <sup>-3/2</sup>	Контактная прочность МПа
3/10	80	2,2	159
	192	1,6	
	280	2,1	
	410	3,2	
	480	3,7	
5/5	70	2,2	171
	184	2,2	
	260	2,5	
	350	3,1	
	460	3,6	
9/2,5	82	2,2	177
	190	2,4	
	280	2,6	
	360	3,0	
	450	3,7	

Анализ этих результатов показал что, чем больше промежуточных слоёв содержит градиентная структура и чем меньше разность между временем задержки ( $\Delta t_{\text{зад}}$ ) при напылении этих слоёв, тем равномерней распределение  $K_{1c}$  по толщине покрытий и выше прочностные характеристики. Это, очевидно, связано с лучшим распределением напряжений в системе основа-покрытие.

Разработаны методы формирования градиентных металлокерамических структур за счёт последовательного изменения химического состава покрытий по их толщине (от 100% металлической составляющей у основы до 100% керамической составляющей у внешней поверхности). В первом случае керамическая и металлическая составляющие напылялись отдельно из первого и второго стволов установки соответственно, а их количество регулировалось за счет изменения длительности открытия порошковых клапанов. Во втором случае напыление производилось из одного ствола, а порошковые материалы подавались из разных дозаторов.

Были исследована структура и свойства полученных градиентных покрытий.

В табл.3 приведены результаты исследования триботехнических свойств градиентных покрытий на машине абразивного трения ММТ.

Табл. 3. Результаты испытаний градиентных детонационных покрытий .

Материал покрытия	Условия испытаний			Интенсивность изнашивания $I_h = \Delta h/L$
	Скорость м/с	Давление МПа	Среда	
$Al_2O_3$	0,15	1,0	Алмазный порошок АСМ 10/7 в масле	$7,16 \times 10^{-5}$
$Al_2O_3 +$ ПНЭ-1	0,15	1,0		$5,07 \times 10^{-5}$
$Al_2O_3^*$	0,15	1,0		$8,95 \times 10^{-5}$

\* – покрытия без формирования градиентных структур.

Результаты испытаний керамических и металлокерамических градиентных покрытий показывают, что они обладают значительно большим сопротивлением износу, чем покрытия из аналогичных материалов, нанесённые без формирования "градиентных" структур. Это, очевидно, связано с тем, что они имеют более высокие значения трещиностойкости.

Установлено, что наилучшее сочетание высоких значений различных свойств имеют металлокерамические градиентные покрытия.

**В пятой главе** приведены результаты применения разработанных градиентных детонационных покрытий.

Разработана технология нанесения защитного градиентного металлокерамического покрытия на медные стенки кристаллизаторов машин для непрерывной разливки сталей (МНЛЗ). Испытания кристаллизаторов на ОАО "Северсталь" показали, что стойкость стенок повысилась с 30-40 до 100-120 плавов.

Найдены методы нанесения металлических детонационных покрытий на фторопластсодержащие композиции. Высокое значение прочности сцепления этих покрытий с фторлакотканями (определялась по стандартной методике АО "Пластполимер» в условиях нормального отрыва) позволяет применять данные композиции в качестве конструкционных материалов для футеровки различного оборудования в легкой и химической промышленности.

Для повышения надёжности и износостойкости резьбовых частей насосно-компрессорных труб разработано градиентное металлическое покрытие на основе сплавов ПН85Ю15 и БрАЖНМц. Испытания показали, что применение данного покрытия позволило обеспечить повышение ресурса работы резьбовых частей труб НКТ в 2-3 раза.

Для повышения износостойкости и герметизирующей способности подвижных соединений уплотнительных устройств разработано градиентное металло-керамическое покрытие на основе  $Al_2O_3$  и ПРХ20Н80. Испытания, которые проводились на натуральных стендах НПО "Винт" (г. Москва) и ЦНИИ МФ (г. Мурманск), показали практически отсутствие износа покрытия и незначительный износ материала контртела.

**В заключении** сформулированы основные выводы и результаты, полученные в диссертации.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Создана оригинальная конструкция детонационной пушки, обеспечивающая высокие энергетические характеристики детонационного процесса, оснащённая несколькими дозаторами подачи порошковых материалов и программной системой управления, позволяющая обеспечить высокие значения скорости и температуры частиц порошка, а, также, заданное изменение этих значений в процессе напыления. Это даёт возможность формировать покрытия с заданными значениями различных свойств, создавая градиентные структуры.
2. Разработана система измерения температурно-скоростных параметров детонационного процесса, основанная на оптической регистрации теплового излучения напыляемого порошка, позволяющая оперативно контролировать энергетические характеристики частиц в каждом цикле без внесения возмущений в двухфазный поток.
3. Создан стенд, включающий двустольную детонационную установку и аппаратуру для измерения энергетических параметров детонационного потока, который обеспечивает нанесение градиентных покрытий различными методами, отработку технологии их напыления, а, также, исследование параметров детонационного процесса.
4. Определены значения технологических параметров процесса напыления, обеспечивающие оптимальные значения свойств получаемых покрытий для различных порошковых материалов (количество газов рабочей смеси и их соотношение, дистанция напыления, толщина покрытия напыляемого за один выстрел, гранулометрический состав порошка).
5. Проведено экспериментальное исследование влияния времени включения клапана подачи транспортирующего газа, на скорость и температуру напыляемых частиц. Установлены значения свойств различных покрытий в зависимости от величины скорости и температуры частиц.

6. Разработан метод получения градиентных керамических покрытий на основе  $Al_2O_3$  посредством последовательного изменения содержания  $\alpha-Al_2O_3$  (от 3 до 20 %) по толщине слоя.
7. Разработан метод получения градиентных металлокерамических структур за счёт последовательного изменения соотношения керамической ( $Al_2O_3$ ) и металлической (ПНЭ-1 и ПРХ16С<sub>3</sub>Р<sub>3</sub>) составляющих по толщине покрытия.
8. Исследованы свойства разработанных градиентных керамических и металлокерамических покрытий. Анализ этих исследований показал, что градиентные покрытия сочетают достаточно высокие значения различных свойств (износостойкости, прочности сцепления и т. д.), что позволяет эффективно использовать их в высоконагруженных конструкциях.

Данные диссертационной работы использованы при разработке детонационного оборудования и технологии нанесения градиентных покрытий на стенки кристаллизаторов машин для непрерывной разливки сталей (МНЛЗ), подвижные соединения уплотнительных устройств судовых механизмов, на резьбовые части насосно-компрессорных труб (НКТ) бурильных установок.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Бланк Е.Д., Галеев И.М., Гуляев П.Ю., Анисимов М.И. Определение скорости и температуры частиц при детонационном напылении // Труды 6-й международной научно-технической конференции "Пленки и покрытия 2001". СПб: Изд-во СПбГТУ, 2001.-С. 465-468.

2. Анисимов М. И., Бланк Е.Д., Галеев И.М., Орыщенко А.С. Влияние скорости и температуры металлизационного потока на свойства детонационных покрытий // Труды 6-й международной научно-технической конференции "Пленки и покрытия 2001". СПб: Изд-во СПбГТУ, 2001. -С. 462-464.

3. Е.Д. Бланк, И.М. Галеев, В.Н. Слепнёв. Комплексы оборудования для детонационного напыления // Вопросы материаловедения. СПб, 1998. №1 (14). - С.38.

4. М.И. Анисимов, Е.Д. Бланк, И.М. Галеев, А.С. Орыщенко, А.К. Пугачёв. Металлические газотермические покрытия на фторопластсодержащих композициях // Труды международной научно-технической конференции. "Пластическая, термическая обработка современных материалов". СПб: Изд-во СПбГТУ, 1998. -С. 64-65.

5. Е.Д. Бланк, А.С. Орыщенко, М.И. Анисимов, И.М. Галеев, В.М. Куркин. Детонационные покрытия на фторопластсодержащих композиционных материалах // Вопросы материаловедения. СПб,1999. № 1 (18). -С. 23-25.

6. Зюмченко П.С., Шепелев М.И., Бланк Е.Д., Галеев И.М. Использование детонационных покрытий при изготовлении и ремонте судовых движителей // сборник "Технология судостроения и машиностроения". СПб: Изд-во ЦНИИТС, 1995. -С. 50-51.

7. Анисимов М.И., Галеев И.М., Бланк Е.Д., Толочко С.В. Керамические и металлокерамические покрытия с повышенной трещиностойкостью // Тезисы докладов конференции "Напыления и покрытия-95 ". СПб: Изд-во СПб ГТУ, 1995. -С. 121-123.

8. Бланк Е.Д., Макаров В.Н., Гольдфайн В.Н., Бедов В.А., Винтман В.Э., Очеретько Ю.Ф., Матяш А.А. Автоматический детонационный комплекс // Свидетельство на промышленный образец №15146.-22 января 1983.

9. Бланк Е.Д., Галеев И.М., Гольдфайн В.Н., Слепнёв В.Н. Способ детонационного нанесения покрытий и устройство для его осуществления // Патент Российской Федерации № 20000847.- 15 октября 1993.

10. Бланк Е.Д., Галеев И.М., Додон Р.В., Слепнёв В.Н. Способ детонационного напыления покрытий и устройство для его осуществления // Патент Российской Федерации № 2106915. - 01 августа 1995.

11. Белков Е.А., Бланк Е.Д., Гольдфайн В.Н., Слепнев В.Н., Ушков С.С., Чеснов А.Н. Установка для нанесения детонационных покрытий // А.с. СССР №1614283. - 26сентября 1988.

