Паринов Максим Викторович. Разработка технологии комбинированной обработки наружных цилиндрических поверхностей с адаптивной коррекцией режимов обработки : диссертация ... кандидата технических наук : 05.03.01, 05.02.08.- Воронеж, 2007.- 165 с.: ил. РГБ ОД, 61 07-5/2013

**61:07-5/2013**

ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Паринов Максим Викторович



**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ**

**НАРУЖНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРНОСТЕЙ**

**С АДАПТИВНОЙ КОРРЕКЦИЕЙ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ**

Специальности - 05.03.01 - Технологии и оборудование механической

и фишко-технической обработки 05.02.08 - Технология машиностроения

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Чижов М.И.

ВОРОНЕЖ 2007

**2 Оглавление**

**Введение 7**

**Глава 1. Состояние вопроса** 11

1. Хромирование Свойс і ва деталей с покрытиями 11
2. Методы гальваномеханического хромирования 12
3. Обзор известного оборудования для гальваномеханического 18 хромирования наружных цилиндрических поверхностей
4. Влияние остаточных напряжений на основные характерне і ики 26 деталей с хромовыми покрытиями
5. Гипотезы возникновения остаточных напряжений при ГМХ 27
6. Обзор моделей остаточных напряжений в хромовых 28 покрытиях, полученных ГМО
7. Влияние режимов гальваномеханического хромирования на 31 основные характеристики деталей с покрьпиями
8. Экспериментальные исследования остаточных напряжений в 32 покрытиях

1.8 1 Известные методы измерения остаточных напряжений 32

1.8 2 Устройства измерения и регистрации деформации для 34

исследований остаточных напряжений в покрытиях

методом "изгиба катода

1.9 Выбор типа аппаратно-программного комплекса аналога- 35  
цифрового преобразования на базе персональной ЭВМ

1.10 Программное обеспечение для работы с аппаратно- 37  
программными комплексами на базе персональной ЭВМ,  
используемыми для построения иселедоваїельских систем и  
технологического оборудования

1 11 Обзор устройства непрерывного контроля и реї ис і рации 40

температуры электролита

**з**

1.11.1 Обзор решений для пост роения ус гройства непрерывного 41  
контроля и регистрации температуры злекіролиіа  
1.12 Выводы 42

**Глава 2. Методика исследования** 44

2.1 Пути решения проблемы получения высокоресурсных деталей 44 с хромовыми покрытиями, обладающих заданными свойствами

2.2Установка ГМХ-1 для гальваномеханического хромирования 46 внешних поверхностей деталей цилиндрической формы

2.30писание образцов для исследования и электролита травления 47

2.4Методика экспериментальных исследований 48

2.5Разработка методики расчета остаточных напряжений в 49

покрытиях через деформацию образца при стравливании исследуемого покрытия

2 бОписание установки ИГП-1 для исследования остаточных 53

напряжений в гальванопокрытиях цилиндрических поверхностей методом послойного сіравливания

2.70писание установки ИГП-2 для исследования остаточных 56

напряжений в гальванопокрытиях цилиндрических поверхностей методом послойного стравливания

2.8Выбор схемы включения тензорезистора 59

2.9Аппаратно-программный комплекс аналого-цифрового 61

преобразования КАЦП-3

2.9.1 Назначение и основные характерне і ики устройства 61

2 9 2 Аппаратная часть 63

2 9 3 Программная часть 65

1. Микропроірамма микроконтроллера 65
2. Управляющая программа 67
3. Универсальный инструментальный усилитель 70 2.10.1 Назначение и основные харакіерисіики усіройства 70 2.10.23ксплуаіация, внешний вид, оріаньї управления 72
4. Универсальный блок питания 74 2.11.1 Назначение и основные характеристики устройства 74 2.11.2Эксплуатация, внешний вид, органы управления 75
5. Математическая обработка экспериментальных данных 77
6. Выводы 78

**ава 3. Моделирование процесса возникновения остаточных 79  
пряжений в покрытиях, полученных методом ГМХ**

3.1 Разработка физико-математической модели остючных 79  
напряжений в хромовых покрытиях, полученных  
гальваномеханическим осаждением

3 2Программная реализация физико-маїемагической модели 95  
остаточных напряжений в хромовых покрытиях, полученных  
гальваномеханическим осаждением

3.3 Экспериментальные исследования оста точных напряжений в 99  
покрытиях, полученных методом гальваномеханическої о  
хромирования

3.4Проверка адекватности разработанной модели 103

3 5Выводы 107

**5 Глава 4. Эксперимешальные исследования физико-механических 109 свойств покрытий, полученных меіодом іальваномеханического хромирования**

4.1 Экспериментальные исследования микротвердости покрытий, 110 полученных методом гальваномеханического хромирования

4.2Экспериментальные исследования шероховаїосіи поверхности 111 покрытий, полученных методом гальваномеханического хромирования

4 3Металлографические исследования поверхности и поперечного 114

шлифа покрытия  
4.4Выводы 115

**Глава 5. Разработка и внедрение технологии и оборудования для 116**

**гальваномеханического хромирования**

5.1 Разработка способ получения хромовых покрытий, 117 обладающих высокими механическими харакіеристиками, коррозионной стойкостью и герметичностью

5 20писание опытного оборудования 118  
5.3Описание установки для гальваномеханического хромирования 119

внешних поверхностей деталей цилиндрической формы

5 4Инструменты и приспособления для гальваномеханической 125

обработки  
5.5Аппаратно-программный комплекс для непрерывного 127

контроля температуры электролита на базе персональной ЭВМ

5 5 1 Аппаратная часть 128

5.5.2 Программная часть 131

5.6Технологический процесс гальваномеханического 134

хромирования деталей

**6**5.7Экономическая эффективность 136

5.8Выводы 137

**Общие выводы по работе 138**

**Библиографический список 140**

**Приложения 150**

**7 Введение**

**Актуальность темы. В** современных условиях развития машиностроения проблема получения качественных деталей с износостойкими покрытиями приобретает особое значение Совмещение процесса осаждения с одновременным механическим воздействием позволяет получать покрытия с уникальными свойствами. В частности, возможно получение хромовых покрытий как с растяіивающими, так и со сжимающими осгагочными напряжениями. Хромовые покрытия со сжимающими остаточными напряжениями вследствие беспористосги отличаются повышенной коррозионной стойкостью, износостойкостью и усталостной прочностью. Вместе с гем диапазон режимов получения покрытий со сжимающими напряжениями довольно узок, досюверность результатов исследований и их точность при исследовании остаточных напряжений существующими методами низка. Поэтому при значительном времени обработки деталей (например, при ремонте, восстановлении брака и обработке крупногабаритных деталей) вопрос стабильности режимов обработки приобретает решающее значение в получении покрытий с необходимыми, заранее заданными свойствами.

Решение этой проблемы возможно путем автоматизации процесса гальваномеханического хромирования, а также повышения точности меюдов контроля и исследования остаточных напряжений в получаемых покрытиях. Адаптивная коррекция режимов обработки обеспечит оптимальные режимы гальваномеханического хромирования. При этом системы обратной связи позволяют реализовать гальваномеханическое осаждение с необходимыми режимами обработки, обеспечить своевременную коррекцию и поддержание оптимальных режимов получения деталей с покрытиями в течение всего времени обработки и тем самым обеспечить стабильное і ь свойств деталей. Решение проблемы включает создание базы данных резулыаюв исследований остаточных напряжений в покрытиях на деіалях, обработанных ранее.

**8**

Объектом исследований в работе являются детали с хромируемыми наружными цилиндрическими поверхностями.

Работа выполнялась в соответствии с целевой комплексной программой АН 2.25.1.1 "Новые процессы получения и обработки металлических материалов"; *ГБ* работой ВГТУ 2004.39 "Теория и практика машиностроительного произволе і ва".

**Цель работы.** Установление закономерностей взаимосвязи параметров ГМХ и поддержание стабильности процесса нанесения покрытия с заранее заданными свойствами

**Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи;**

1. Получение математических моделей процесса формирования покрытий, определяющих взаимосвязь режимов обработки с параметрами деталей с покрытиями.
2. Разработка методики и аппаратно-программного комплекса исследования остаточных напряжений, позволяющих автоматизировать процесс исследования.
3. Исследование влияния режимов технологического процесса гальваномеханического хромирования на свойства деталей с покрытиями и самих покрытий.

4. Создание модели процесса обработки и формирования остаточных  
напряжений в покрытиях, полученных гальваномеханическим  
хромированием, учитывающей технологические режимы обработки;  
создание программного средства для ее представления и реализации.

5. Разработка технологии и оборудования гальваномеханического  
хромирования с адаптивной коррекцией режимов технологического  
процесса, включающей программно-технический комплекс.

**Методы исследования**

Теоретические исследования проводились с использованием методов и аппарата теории упругости и пластичности, научных основ

**9** гальваномеханического осаждения, механики растущих тел, физики твердого тела. Использовались численные методы, математическое моделирование, методы алгоритмизации и программирования на языках высокого уровня и ассемблере, научные основы схемотехники. Постановка экспериментов и обработка полученных данных проводилась с применением методов математической статистики.

**Достоверность результатов и выводов работы** обеспечивались  
использованием теоретических положений комбинированных методов  
обработки, аргументированными допущениями, применением

сертифицированных методов алгоритмизации и программирования. Достоверность экспериментальных данных обеспечивалась применением аттестованных измерительных средств, апробированных методик. Научные положения подтверждены опытно-промышленным внедрением разработки в производство.

**Научная новизна**

**1.** Разработан способ комбинированной обработки с адаптивной  
коррекцией режимов гальваномеханического хромирования с обратной  
связью (подана заявка на изобретение).

2. Предложена модель процесса обработки и формирования остаточных  
напряжений в хромовых покрытиях, возникающих при  
гальваномеханическом осаждении с учетом режимов процесса. Создано  
программное средство для ее представления и реализации.

3. Разработана методика автоматизированного исследования  
остаточных напряжений в гальванических покрытиях, включающая алгоритм  
численного дифференцирования.

4. Предложены математические модели зависимости параметров  
процесса от режимов обработки.

5. Разработан алгоритм коррекции режимов обработки и аппаратно-  
программный комплекс его реализации.

**10 Практическая значимость работы**

Использование технологии гальваномеханического хромирования с адаптивной коррекцией режимов обработки позволяет обеспечить гарантированное получение высококачественных хромированных деталей с заданными свойствами. Создана методика и аппаратно-программный комплекс исследования остаточных напряжений в деталях с покрытиями, позволяющие повысить достоверность исследований и снизить их трудоемкость.

**Реализация и внедрение результатов работы**

Аппаратно-программные комплексы проверены в производственных условиях. Технология гальваномеханического хромирования с адаптивной коррекцией режимов технологического процесса внедрена в производство на предприятии ООО "Рустехресурс" при изготовлении барабанов печатных машин с экономическим эффектом 84,0 тыс. р., методика определения остаточных напряжений внедрена в учебный процесс, что подтверждено актами внедрения.

**Апробация работы**

Основные результаты и положения работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях: Международной научно-технической конференции "Научная работа в университетских комплексах" (Воронеж, 2005), III Международной научно-технической конференции "Синт05" "Разработка, производство и эксплуатация турбоэлектронасосных агрегатов и систем на их основе" (Воронеж, 2005), научных конференциях ВГТУ в 2003-2006 годах.

**ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ**

Основным результатом работы является технология, обеспечивающая

стабильное качество и характеристики покрытий путем адаптивной

коррекции режимов технологического процесса гальваномеханического

хромирования.

Проведенные в работе теоретические и экспериментальные исследования

позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Разработана физико-математическая модель формирования остаточных напряжений в получаемых хромовых покрытиях, позволяющая рассчитывать распределение остаточных напряжений по толщине в зависимости от технологических факторов процесса, реализованная в программном продукте № 50200601719. Ошибка расчета напряжений не превышает 10-15%.
2. Предложен способ гальваномеханического хромирования с адаптивной коррекцией на базе системы с обратной связи, который позволяет устранить недостатки известных технологий
3. Разработан аппаратно-программный комплекс исследования остточных напряжений в покрытиях, позволяющий за счет автоматизации исследований повысить производительность, достоверность и точность исследований (программные продукты № 50200500277, № 50200500278 и № 50200600615).

4. Разработана автоматизированная установка гальваномеханического  
хромирования внешних цилиндрических поверхностей, включающая сисіему  
адаптивной коррекции режимов обработки. Устройство может  
использоваться в комплексе с обратной связью и позволяет поддерживать  
режимы обработки на постоянном уровне, что положительно сказывается на  
качестве получаемых покрытий (программный продукт № 50200401487).

5. Разработаны устройства, обеспечивающие равномерность распределения  
напряжений по образующей путем задания траектории движения  
обрабатывающего инструмента и поддержания необходимого давления  
инструмента в течение всего процесса обработки.

139

6. Проведены исследования влияния факторов технологического процесса на  
остаточные напряжения, микротвердость и шероховатое і ь поверхности  
хромовых покрытий. Получены математические зависимости, используемые  
для автоматизированной коррекции техпроцесса с целью получения  
покрытий, обладающих заданными свойствами.

7. Внедрение результатов позволило снизить трудоемкость изготовления  
деталей, повысить качество и физико-механические свойства деталей с  
покрытиями. Экономический эффект составил 84,0 тыс. руб.

140 Литература

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий, 2-е изд. М.: Наука, 1976. 280 с.
2. Альберг О'Грэди. Методы возбуждения измерительных датчиков и применение ИС AD7711 и AD7730. Пер. с англ. Analog Dialogue 34-5, 2000. Электронное издание.
3. Алямовский A.A. SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. ДМК-Пресс, 2004. 432 с.
4. Андреев СВ. Автоматизированный стенд для испытания вертолетных редукторов 4с. Электронное издание.
5. Андреев СВ. Рабочий эталон для поверки промышленных датчиков давления . 4с. Электронное издание.
6. Андреев СВ. Система управления мощными электрическими двигателями испытательного стенда вертолетных редукторов 5с. Электронное издание.
7. А.с. RU 2210639, C25D 5/04, 17/00. Прижим для электролитического нанесения покрытия. Ромашов А.А., Ромашов Д.А., №2002109830/02; Заявлено 15.04.02; Опубл. 20.08.03.
8. А.с. RU 2215830, C25D 5/22. Способ хромирования. Жеско Ю.Е., Зубер Д.Л , №2002117695/02; Заявлено 02.07.02; Опубл. 10.11.03.
9. А.с. RU 2225464, C25D 19/00, C25F 7/00. Автоматическая гальваническая установка для обработки цилиндрических стержней. Усіюгов А.Г., №2002100980/02; Заявлено 08.01.01; Опубл. 10.03.04.
10. А.с. RU 2230837, C25D 19/0, 7/04. Установка для нанесения гальванического покрытия на наружную поверхность детали. Агапов С.А., Артемьев В.Н., №2002119445/02; Заявлено 17.07.02; Опубл. 20.06.04.

11 А.с SU 1236779, C25F 5/00, 7/00. Способ определения ос і а точных напряжений в образцах и устройство для его осуществления. Меркулова Н С , Алексеев В.Н., № 4684003/02; Заявлено 25.04.89; Опубл. 07.08.91. Бюл. № 29.

141

12.. A.c. SU 1382880 Al C25D 21/12 Датчик внутреннего напряжения покрытий для устройств электрохимического осаждения. Лев А.С, Егорычев А.А. Заявлено 12.05.86. опубликовано 23.03.88, бюл. 11

13.A.c. SU 1668493, C25F 7/00. Система для определения остаточных напряжений 1-го рода. Ляшко В.А., Смагленко Ф.П., Погемкин М.М„ № 2002109830/02; Заявлено 15.04.02; Опубл. 20.08.03.

14.А.с. SU 1773949 Al C25D 21/12 Устройство для измерения внутренних напряжений гальванопокрытий. Игнатьев В.И., Шлугер М.А. Заявлено 02.11.90. опубликовано 07.11.92, бюл. 41.

15.А.с 875888, МКИ5 C25D5/22. Способ хромирования. Л.Я. Богорад и др. (СССР). №2863401/25; Заявлено 12.11.80; Опубл. 23.10.81, Бюл. №39 4С.

16.Астахов М.В., Жачкин СЮ. Износостойкие покрытия для восстановления и изготовления деталей машин. Технология металлов №2 2005. С. 40-43.

17.Астахов М.В., Жачкин СЮ. Износостойкость компомшых хромовых покрытий, полученных методом гальваноконтактного осаждения // Известия вузов. Машиностроение. - 2004. - N 9. - С. 50-54.

18.Балакин А., Снятков Г. Цифровая система анализа динамических сигналов - «Магнитограф». Зс Электронное издание.

19.Барканов А.В., Коротков А.С. Реализация дельта-сигма модулятора на основе программируемой аналоговой интегральной схемы. Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет, Кафедра Радиотехники и Телекоммуникаций 4с Электронное издание.

20.Басов К.A. ANSYS Справочник пользователя. ДМК-Пресс, 2005. 640 с.

21.Бахвалов Н.С Численные методы. Бином, 2006. 636 с

22.Богорад Л.Я. Хромирование. 5-е изд., Л: Машиностроение, 1984. 96 с.

23.Богорад Л.Я., Касьян В.А., Кнопова Л.К. и др. Катодно-механическое хромирование. Отраслевой журнал 1984 №10, С. 30-32.

24.Боровиков В. П. Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows. Издательство "Финансы и статистика", 2006. 368 с.

142 25.Боровиков В. П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере:

Для профессионалов (2-е издание). Издательство "Питер", 2003. 400 с. 26.Ваграмян А.Т., Петрова Ю.С. Физико-механические свойства

электролитических осадков. М: Изд-во АН СССР, 1960. 206 с. 27.Гальванические покрытия в машиностроении: Справочник в 2 т. Под ред.

Шлугера М.А. М: Машиностроение, 1985, ТІ. 240 с. 28.Гудович Н.Н. Интерполяция кубическими сплайнами: Избранные вопросы

курса численных методов. Воронеж: ВГУ 2002, 36с. Электронное издание. 29.Дмитриенко О.В., Мякотин А.Д. Методика определения остаточных

напряжений методом непрерывного тензометрирования относительных

деформаций. ЗО.Жачкин СЮ. Восстановление деталей дисперсно-упрочненным

композитным хромовым покрытием. Тракторы и сельскохозяйственные

машины, №2 2005. С. 43-44. ЗІ.Жачкин СЮ. Особенности получения покрытий методом

гальваноконтактного осаждения. Упрочняющие технологии и покрытия,

№03 2005. С.45-48. 32.Жачкин СЮ. Холодное гальваноконтактное восстановление деталей.

Воронеж: ВГТУ, 2002. 136 с. 33.Исследование возможности уменьшения наводороживания в процессе

хромирования с целью снижения в 1,5-2 раза отрицательного влияния

водорода на физико-механические свойства стали. ОТЧЕТ. Поиск 82-02.

№ ГР Г43645; инв. № 09800637515. 1984. 60 С.