

На правах рукописи

НЕСТЕРОВ Сергей Александрович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЦЕНТРОБЕЖНО-ПЛАНЕТАРНОЙ
ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ
ДЕТАЛЕЙ**

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ПЕНЗА 2003

Работа выполнена в Пензенском государственном университете.

Научный руководитель: заслуженный деятель науки
и техники Российской Федерации,
доктор технических наук, профессор
Мартынов А. Н.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Трилисский В. О.;
кандидат технических наук, доцент
Савицкий В. Я.

Ведущее предприятие — ОАО «Пенздизельмаш», г. Пенза.

Защита диссертации состоится «___» _____ 2003 г.,
в «___» часов, на заседании диссертационного совета Д 212.186.03
в Пензенском государственном университете по адресу:
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Пензенско-
го государственного университета.

Автореферат разослан “___” _____ 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук,
профессор



Соколов В. О.

2003-A
21510

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одной из важнейших задач современного машиностроения является повышение качества и конкурентоспособности выпускаемых изделий в условиях рынка. Повышение качества изделий невозможно без совершенствования технологии обработки деталей для получения заданных эксплуатационных свойств.

Для формирования высоких качественных характеристик деталей широко применяют различные методы отделочно-упрочняющей обработки (ОУО) поверхностно-пластическим деформированием (ППД). Сравнительно новым и эффективным способом объемной обработки поверхностей деталей является объемная центробежно-планетарная отделочно-упрочняющая обработка (ЦПОУО). Однако имеющиеся сведения о практике применения новой технологии нередко носят противоречивый характер, в первую очередь, это касается регламентирования параметров планетарного движения контейнеров, рекомендаций по выбору рабочих сред и объема их загрузки, также недостаточно исследован механизм взаимодействия рабочей среды с поверхностью детали. Отсутствие комплексных теоретических и экспериментальных исследований затрудняет разработку технологии и оборудования. Достижение заданных параметров качества поверхностного слоя обрабатываемых деталей и создание высокопроизводительных центробежно-планетарных станков невозможно без предварительной экспериментальной отработки технологии упрочнения.

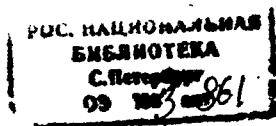
Поэтому актуальными являются исследования по повышению эффективности центробежно-планетарной отделочно-упрочняющей обработки деталей.

Цель работы — повышение эффективности технологии ЦПОУО на основе моделирования динамики процесса для достижения заданных качественных характеристик поверхностного слоя.

В соответствии с поставленной целью были сформулированы задачи исследований.

1. Исследовать и математически описать механизм движения и взаимодействия частиц массива рабочей загрузки и обрабатываемой поверхности детали при ЦПОУО.

2. Создать математическую модель, описывающую формирование качественных характеристик поверхностного слоя обрабатываемой детали.



3. Выработать принципы оптимизации ЦПОУО.

4. Исследовать достижимые качественные характеристики ЦПОУО.

5. Разработать рекомендации по проектированию технологических процессов ЦПОУО.

6. Использовать полученные результаты для внедрения в производство.

Методы исследований. Теоретические исследования выполнялись на базе основных положений технологии машиностроения, теоретической механики, теории пластичности, теории вероятностей и математической статистики и теории случайных процессов. Основные научные результаты в работе получены теоретически и подтверждены экспериментально. Решение всех задач выполнялось с помощью ЭВМ.

Основные положения, выносимые на защиту:

- комплекс математических моделей, описывающих качественные характеристики ЦПОУО, в том числе модель движения рабочей загрузки; модель взаимодействия рабочих тел с обрабатываемой поверхностью; модель формирования качественных характеристик поверхностного слоя;

- методика и результаты экспериментальных и теоретических исследований в виде математических моделей влияния физико-механических свойств материала обрабатываемых деталей и характеристик обрабатывающей среды на режим движения рабочей загрузки, время обработки и качественные характеристики поверхностного слоя.

Научная новизна. Впервые разработаны математические модели, описывающие качественные характеристики ЦПОУО. Разработаны принципы оптимизации технологических режимов обработки, позволяющие получать заданное качество поверхностного слоя с учетом технических ограничений при максимальной производительности процесса. Создана сервисная информационно-вычислительная система (ИВС), позволяющая проектировать операционную технологию.

Практическая ценность работы. Разработаны рекомендации по проектированию технологии ЦПОУО на основе комплекса математических моделей, описывающих процесс отделки и упрочнения. Впервые разработаны методика и сервисная ИВС для инженерных расчетов технологических параметров ЦПОУО.

Реализация и внедрение результатов работы. Результаты исследования внедрены на ОАО «Пенздизельмап» и ООО «Экосоюз». Суммарный годовой экономический эффект составил 299 тыс. руб.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на 13 конференциях и семинарах, в том числе: VII международной научно-технической конференции «Комплексное обеспечение качества транспортных и технологических машин» (Пенза, 2001); Международном симпозиуме «Надежность и качество-2000» (Пенза, 2000); Международной научно-технической конференции «Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы» (Волжский, 2003); научных конференциях профессорско-преподавательского состава ПГУ (1997–2003 гг.).

Публикации. По результатам исследований опубликована 21 печатная работа: 20 статей, 1 положительное решение о выдаче патента на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и списка литературы. Содержит 272 страницы, в том числе 143 страницы машинописного текста, 53 рисунка, 28 таблиц, список литературы, включающий 161 наименование.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен краткий обзор работ в области отделочно-упрочняющей обработки, приведено описание применяемых в промышленности методов упрочнения, представлено современное состояние ОУО. Рассмотрены работы по ОУО Д. Д. Папшева, И. В. Кудрявцева, В. В. Петросова, Л. А. Хворостухина, А. П. Бабичева, В. М. Смелянского, А. Н. Мартынова, М. М. Саверина, В. М. Торбило, В. М. Сорокина, В. О. Трилисского, М. А. Балгера и др.

На основании выполненного аналитического обзора показана перспективность метода объемной ОУО для обработки деталей со сложной конфигурацией рабочих поверхностей. ОУО в конгейнерах с планетарным вращением позволяет управлять формированием качественных характеристик поверхностного слоя и обладает широкими технологическими возможностями.

На основании проведенного обзора сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе представлены результаты теоретических исследований по разработке математической модели формирования массива рабочей загрузки.

При моделировании кинематических характеристик рабочих тел в разных зонах рабочей загрузки (рисунок 1) определялись геометрическое положение (координаты x , y , угловое положение) и скорости (прямолинейные, угловые) любого тела в произвольный момент времени.

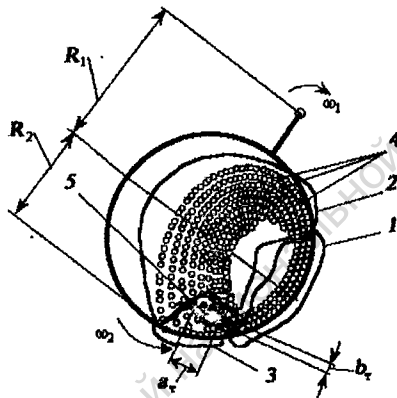


Рисунок 1 — Схема движения рабочей загрузки:

1 — твердотельная зона; 2 — зона летящих шаров; 3 — переходная зона; 4 — рабочие тела; 5 — обрабатываемая деталь; ω_1 , ω_2 — угловые скорости вращения водила и контейнера соответственно; R_1 , R_2 — радиусы водила и контейнеров соответственно; $R_{ш}$ — радиус шарика; a , b — стороны обрабатываемого тела

Для моделирования движения массива рабочей загрузки были определены условия перехода рабочих тел из одной зоны в другую и условие устойчивости твердотельной зоны, на основе уравнения равновесия сил

$$\sum \vec{F} = \vec{R}_x + \vec{R}_y + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_k + \vec{F}_{трx} + \vec{F}_{тры}, \quad (1)$$

где \vec{R}_x, \vec{R}_y — реакция стенок контейнера; \vec{F}_1 — сила инерции от вращения водила с угловой скоростью ω_1 ; \vec{F}_2 — сила инерции от

вращения контейнера с угловой скоростью ω_2 ; \vec{F}_k — кориолисова сила инерции от переносного вращения контейнера с угловой скоростью ω_1 ; $\vec{F}_{трx}$, $\vec{F}_{тры}$ — силы трения в проекциях на координатные оси x и y .

На основе полученных аналитических зависимостей, моделирующих движение рабочей загрузки, была разработана компьютерная программа «ИВС ЦПОУО» на языке программирования *Turbo Pascal* в среде программирования *Delphi-5*, описывающая поведение рабочей загрузки при ЦПОУО.

Исходными данными для этой программы являются: геометрические характеристики системы станок — деталь — инструмент, кинематические параметры установки, физико-механические параметры рабочих тел и обрабатываемых деталей. Выходные данные программы: графическая интерпретация поведения рабочей загрузки внутри контейнера; параметры рабочих тел в массиве рабочей загрузки в произвольный момент времени t ; параметры системы в момент контакта рабочих тел и обрабатываемой детали.

Внешний вид отдельных окон разработанной программы представлен на рисунках 2 и 3.

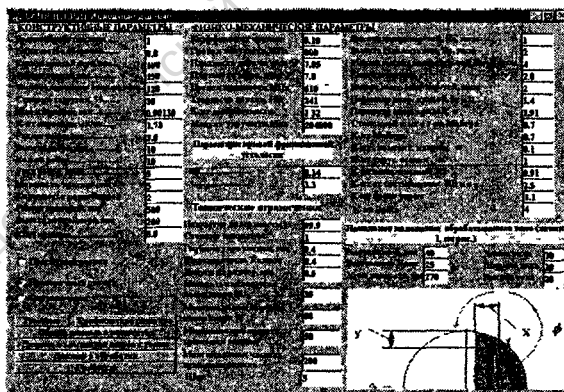


Рисунок 2 — Окно ввода данных программы «ИВС ЦПОУО»

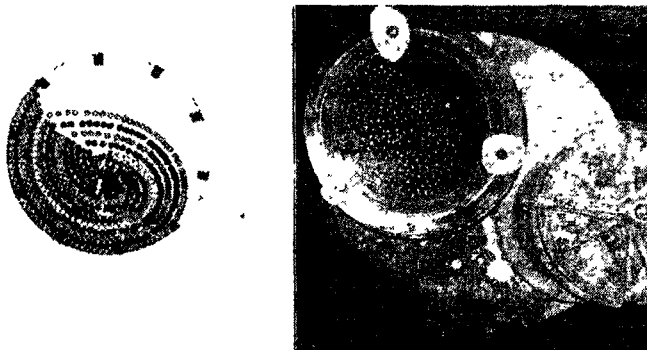


Рисунок 3 — Сравнительный анализ данных фотометрии и графической визуализации программы «ИВС ЦПОУО»

На основе анализа результатов работы графического модуля программы определены граничные условия перехода к различным режимам движения рабочей загрузки и выявлены предпочтительные сочетания сложного движения контейнеров для достижения наиболее благоприятных режимов движения рабочей загрузки. Установлено, что наиболее благоприятным для поверхностного упрочнения деталей являются каскадно-водопадный или водопадный режимы движения рабочей загрузки. При этом нормальная составляющая скорости шариков к поверхности детали достигает $5 \cdot 7$ м/с, углы взаимодействия составляют $60-90^\circ$, а за цикл обработки длительностью 5 мин общее количество ударов шариков по поверхности детали составляет от 7000 до 10000 ударов на 1 см^2 .

В третьей главе выполнено моделирование формирования качественных характеристик поверхностного слоя деталей и разработана методика оптимизации обработки.

Установлено, что внутри рабочей загрузки возможны две схемы взаимодействия рабочих тел и обрабатываемой детали в зависимости от характера движения рабочей загрузки: при водопадном режиме движения — ударная, а при каскадном и каскадно-водопадном — безударная. Раскрыты механизмы формирования единичных отпечатков при обеих схемах взаимодействия.

Параметры единичного отпечатка при безударном характере взаимодействия можно рассчитать по соотношениям

$$h_{\text{отп}} = \frac{P_{\text{Д}}\sqrt{1+f^2}}{\pi R_{\text{ш}} c K_{\text{Д}} \sigma_{\text{T}}} + R z_{\text{ш}} \left[\frac{1,5 P_{\text{Д}} \sqrt{1+f^2} \cdot \sin \alpha_0}{\pi r_{\text{отп}}^2 \alpha_{\text{упр}} K_{\text{к}} b B} \right]^{\frac{1}{\nu+\omega}}; \quad (2)$$

$$h_{\text{м}} = R z_{\text{ш}} \left[\frac{1,5 P_{\text{Д}} \sqrt{1+f^2} \cdot \sin \alpha_0}{\pi r_{\text{отп}}^2 \alpha_{\text{упр}} K_3 b B} \right]^{\frac{1}{\nu+\omega}}, \quad h_0 = \frac{P_{\text{Д}} \sqrt{1+f^2}}{\pi R_{\text{ш}} c K_{\text{Д}} \sigma_{\text{T}}}; \quad (3)$$

$$D_{\text{отп}} = 2 \sqrt{\frac{2 P_{\text{Д}} \sqrt{1+f^2}}{\pi c K_{\text{Д}} \sigma_{\text{T}}} + 2 R_{\text{ш}} R z_{\text{ш}} \left[\frac{1,5 P_{\text{Д}} \sqrt{1+f^2} \cdot \sin \alpha_0}{\pi r_{\text{отп}}^2 \alpha_{\text{упр}} K_{\text{к}} b B} \right]^{\frac{1}{\nu+\omega}}}; \quad (4)$$

$$l_{\text{отп}} = \int_0^{t_{\text{с}}} \left(\vartheta_{\text{Д}} \cdot \cos(\alpha_0^0 - \omega_{\text{Д}} t) + \omega_{\text{Д}} \cdot \frac{d_{\text{Д}}}{2} - \vartheta_{\text{пр}} \cdot \cos(\alpha_0^0 - \omega_{\text{Д}} t) \right) dt, \quad (5)$$

где $h_{\text{отп}}$ — глубина лунки, м; $h_{\text{м}}$ — пластическая деформация неровностей, м; h_0 — пластическая деформация основного микропрофиля, м; $D_{\text{отп}}$ — глубина лунки, м; $l_{\text{отп}}$ — длина следа лунки, м; $P_{\text{Д}}$ — динамическая нагрузка в зоне контакта сферы с шероховатой поверхностью, вызывающая возникновение пластических деформаций, Н; α_0 — угол атаки, рад; f — коэффициент трения скольжения шариков по поверхности; R — радиус индентора, м; c — коэффициент стеснения, зависящий от формы деформирующего элемента; $K_{\text{Д}}$ — коэффициент, учитывающий изменение механических свойств материала при динамическом воздействии; σ_{T} — статический предел текучести материала, МПа; $R z_{\text{исх}}$, b , ν — характеристики распределения параметров шероховатости; α — коэффициент, характеризующий упругую осадку выступов неровностей; B и ω — коэффициенты, характеризующие контактные напряжения на выступах неровностей; K — коэффициент, зависящий от принятой формы модели неровностей, параметров опорной кривой, свойств деформируемого материала; $K_{\text{ш}}$ — переводной коэффициент между параметрами шероховатости Rz и Ra .

При ударном характере взаимодействия были определены параметры отпечатков при двух видах контакта.

1. Удар шарика по поверхность детали

$$h_{\text{отп}} = \frac{2R_{\text{ш}}^2 \rho_{\text{ш}} \vartheta_y^2 \sqrt{1+f^2}}{3cK_{\text{д}} \sigma_{\text{T}} h_{\text{отп}}} + Rz_{\text{и}} \left(\frac{R_{\text{ш}}^2 \rho_{\text{ш}} \vartheta_y^2 \sqrt{1+f^2}}{2\alpha_{\text{упр}} h_{\text{отп}}^2 K_{\text{к}} bB} \right)^{\frac{1}{v+\omega}}; \quad (6)$$

$$h_{\text{о}} = \frac{2R_{\text{ш}}^2 \rho_{\text{ш}} \vartheta_y^2 \sqrt{1+f^2}}{3cK_{\text{д}} \sigma_{\text{T}} h_{\text{отп}}}, \quad h_{\text{м}} = Rz_{\text{и}} \left(\frac{R_{\text{ш}}^2 \rho_{\text{ш}} \vartheta_y^2 \sqrt{1+f^2}}{2\alpha_{\text{упр}} h_{\text{отп}}^2 K_{\text{к}} bB} \right)^{\frac{1}{v+\omega}}; \quad (7)$$

$$D_{\text{отп}} = 2 \sqrt{\frac{2R_{\text{ш}}^3 \rho_{\text{ш}} \vartheta_y^2 \sqrt{1+f^2}}{3cK_{\text{д}} \sigma_{\text{T}} h_{\text{отп}}} + 2R_{\text{ш}} Rz_{\text{и}} \left(\frac{R_{\text{ш}}^2 \rho_{\text{ш}} \vartheta_y^2 \sqrt{1+f^2}}{2\alpha_{\text{упр}} h_{\text{отп}}^2 K_{\text{к}} bB} \right)^{\frac{1}{v+\omega}}}. \quad (8)$$

2. Удар детали о шарики твердотельной зоны:

$$h_{\text{отп}} = \frac{\frac{m_{\text{д}}}{n_{\text{ш}}} \vartheta_y^2 \sqrt{1+f^2}}{\pi R_{\text{ш}} c K_{\text{д}} \sigma_{\text{T}} h_{\text{отп}}} + Rz_{\text{и}} \left(\frac{\frac{m_{\text{д}}}{n_{\text{ш}}} \vartheta_y^2 \sqrt{1+f^2}}{2\pi \alpha_{\text{упр}} R_{\text{ш}} h_{\text{отп}}^2 K_{\text{к}} bB} \right)^{\frac{1}{v+\omega}}; \quad (9)$$

$$h_{\text{о}} = \frac{\frac{m_{\text{д}}}{n_{\text{ш}}} \vartheta_y^2 \sqrt{1+f^2}}{\pi R_{\text{ш}} c K_{\text{д}} \sigma_{\text{T}} h_{\text{отп}}}, \quad h_{\text{м}} = Rz_{\text{и}} \left(\frac{\frac{m_{\text{д}}}{n_{\text{ш}}} \vartheta_y^2 \sqrt{1+f^2}}{2\pi \alpha_{\text{упр}} R_{\text{ш}} h_{\text{отп}}^2 K_{\text{к}} bB} \right)^{\frac{1}{v+\omega}}; \quad (10)$$

$$D_{\text{отп}} = 2 \sqrt{\frac{\frac{m_{\text{д}}}{n_{\text{ш}}} \vartheta_y^2 \sqrt{1+f^2}}{\pi c K_{\text{д}} \sigma_{\text{T}} h_{\text{отп}}} + 2R_{\text{ш}} Rz_{\text{и}} \left(\frac{\frac{m_{\text{д}}}{n_{\text{ш}}} \vartheta_y^2 \sqrt{1+f^2}}{2\pi \alpha_{\text{упр}} R_{\text{ш}} h_{\text{отп}}^2 K_{\text{к}} bB} \right)^{\frac{1}{v+\omega}}}; \quad (11)$$

$$l_{\text{отп}} = \pi h_{\text{отп}} (\text{ctg} \alpha_0 - f), \quad (12)$$

где $m_{\text{д}}$ — масса детали, кг; v_y — скорость взаимодействия, м/с; $\rho_{\text{ш}}$ — плотность шарика, кг/м³.

Разработаны рекомендации по выбору конструктивных параметров станков для новой технологии, размеров и формы рабочей камеры, позволяющей достичь предпочтительного для упрочнения водопадного режима движения рабочей загрузки.

Установлено предельно допустимое количество ударов по точке поверхности, исходя из максимальной способности металла к деформации при отсутствии перенаклепа:

$$j_1 = 18 - 0,25 \cdot 10^{-6} (HB)^2, \quad j_2 = \left(e_0 \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1 - R'f}{1 + R'f}} \right) \left(\frac{R}{h_{\text{отп}}} \right)^{1/2}, \quad (13)$$

где j_1 — минимально допустимое количество ударов по точке поверхности, исходя из максимальной способности металла к деформации; j_2 — максимально допустимое количество ударов по точке поверхности, при отсутствии перенаклепа; HB — твердость материала детали, МПа; e_0 , t — параметры кривой фрикционной усталости; f — коэффициент трения скольжения; R' — коэффициент, зависящий от соотношения предела текучести и твердости HB металла; R — радиус шарика; $h_{\text{отп}}$ — глубина отпечатка.

Таким образом, степень покрытия произвольной точки поверхности отпечатками j должна удовлетворять условию

$$j_1 < j < j_2. \quad (14)$$

На основании параметров единичных отпечатков (2–12) и картины распределения отпечатков по поверхности детали были получены аналитические зависимости для определения качественных характеристик поверхностного слоя.

1. Среднеарифметическое отклонение профиля установившейся шероховатости поверхности

$$Ra_{\text{уст}} = Ra_{\text{и}} - h_{\text{мсп}} / K_{\text{пш}}, \quad (15)$$

где $Ra_{\text{уст}}$, $Ra_{\text{и}}$ — среднеарифметическая высота микронеровностей поверхности установившейся шероховатости на обработанной поверхности и на исходной соответственно, мкм; $h_{\text{мсп}}$ — средняя величина деформирования микронеровностей по поверхности обработанной детали; $K_{\text{пш}}$ — переводной коэффициент между параметрами шероховатости Rz и Ra для отделочных методов обработки.

2. Толщина поверхностно-упрочненного слоя при взаимодействии в скользящем слое и каскадном режиме движения загрузки

$$h_{\text{н}} = 3 \sqrt{\frac{2P_{\text{Д}}\sqrt{1+f^2}}{\pi c K_{\text{Д}}\sigma_{\text{T}}} + 2R_{\text{ш}}Rz_{\text{и}} \left[\frac{1,5P_{\text{Д}}\sqrt{1+f^2} \cdot \sin \alpha_0}{\pi r_{\text{отп}}^2 \alpha_{\text{упр}} K_{\text{к}} b B} \right]^{\frac{1}{\nu+\omega}}}; \quad (16)$$

для взаимодействий в переходной зоне при водопадном режиме движения рабочей загрузки при ударе шариков о деталь

$$h_{\text{н}} = 3 \sqrt{\frac{2R_{\text{ш}}^3 \rho_{\text{ш}} g_y^2 \sqrt{1+f^2}}{3c K_{\text{Д}}\sigma_{\text{T}} h_{\text{отп}}} + 2R_{\text{ш}}Rz_{\text{и}} \left(\frac{R_{\text{ш}}^2 \rho_{\text{ш}} g_y^2 \sqrt{1+f^2}}{2\alpha_{\text{упр}} h_{\text{отп}}^2 K_{\text{к}} b B} \right)^{\nu+\omega}}; \quad (17)$$

при ударе детали о шарики твердотельной зоны

$$h_{\text{н}} = 3 \sqrt{\frac{\frac{m_{\text{Д}}}{n_{\text{ш}}} g_y^2 \sqrt{1+f^2}}{\pi c K_{\text{Д}}\sigma_{\text{T}} h_{\text{отп}}} + 2R_{\text{ш}}Rz_{\text{и}} \left(\frac{\frac{m_{\text{Д}}}{n_{\text{ш}}} g_y^2 \sqrt{1+f^2}}{2\pi \alpha_{\text{упр}} R_{\text{ш}} h_{\text{отп}}^2 K_{\text{к}} b B} \right)^{\frac{1}{\nu+\omega}}}. \quad (18)$$

Для определения времени обработки, обеспечивающего равномерное покрытие всей поверхности детали отпечатками с минимальной степенью j_1 , и формирования установившихся параметров качества поверхностного слоя $h_{\text{н}}$, $Ra_{\text{уст}}$, при выполнении условия (14) и заданных режимах обработки был создан программный модуль, выходное окно которого представлено на рисунке 4.

Анализ результатов исследований показал, что теоретическое значение глубины упрочнения $h_{\text{н}}$ на разных материалах может достигать от 0,4 до 0,7 мм, а достижимая величина шероховатости $Ra = 0,18-0,3$ мкм, время обработки составляет 8-12 мин.

На основании результатов теоретических исследований и полученных зависимостей (2-18) разработана методика оптимизации процесса ЦПОУ. Для оптимизации технологических режимов ЦПОУ в качестве целевой функции выбрана производительность.

том проекторе БМИ-1 при увеличениях до $\times 50$. Точностные параметры процесса оценивались с помощью кругломера марки *Tolerance 263* и лабораторного измерительного стенда, разработанного на кафедре «Технология машиностроения» ПГУ.

Для исследования использовались как специальные образцы, так и натурные газотурбинные лопатки из сплава АНВ-300, изготовленные методом точного литья по выплавляемым моделям в производственных условиях.

В качестве рабочих тел использовались стальные закаленные полированные шарики. В роли технологической жидкости применялся водный раствор следующего состава: 3%-е глицериновое мыло; 2%-я кальцинированная сода; 1%-й нитрит натрия.

При проведении исследований использовалась методика многофакторного математического планирования, что позволило сократить количество экспериментов, а разработанный комплект программ для расчета параметров математических моделей позволил повысить достоверность получаемых результатов.

Для проверки адекватности разработанной модели движения рабочей загрузки при ЦПОУО были проведены фотовидеометрические исследования. Сравнение результатов движения рабочей загрузки с данными фотометрических исследований (см. рисунок 3) свидетельствует об адекватности предложенной модели движения рабочей загрузки при ЦПОУО.

Экспериментальные исследования подтвердили адекватность теоретических моделей. Так, математическая модель единичного взаимодействия адекватно отражает влияние характеристик рабочей среды, механических свойств материалов и режимов обработки на параметры отпечатка при ЦПОУО. Математическая модель формирования качественных характеристик позволяет достаточно точно (погрешность не более 20%) рассчитать глубину упрочненного слоя, определить среднее арифметическое отклонение профиля поверхности Ra и время обработки для достижения заданных параметров обработки.

Экспериментальные исследования показали, что ЦПОУО обеспечивает снижение шероховатости поверхности до Ra 0,35...0,4 мкм (рисунок 5), формирование точностных параметров в пределах 7–8 квалитетов, степень упрочнения до 35% на глубине до 0,6 мм, формирование в поверхностных слоях сжимающих остаточных напряжений на глубине до 0,3 мм (рисунок 6) и повышение предела выносливости до 20%.

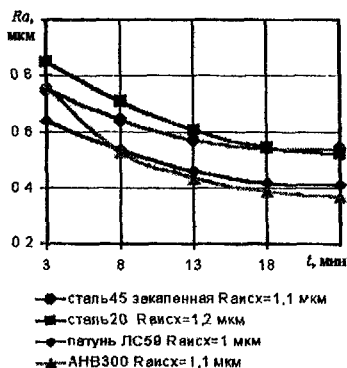


Рисунок 5 – Влияние времени обработки на шероховатость поверхности:
 $R_{\text{нш}}=2,35$ мм; $n_1=110$ мин⁻¹;
 $K_3=0,5$

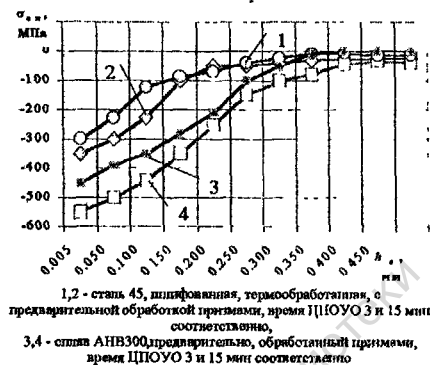


Рисунок 6 – Распределение остаточных напряжений в поверхностных слоях;
 $R_{\text{нш}}=2,35$ мм; $n_1=170$ мин⁻¹, $K_3=0,5$;
 $n_2=20$ мин⁻¹, $K_{\text{пер}}=1,73$

В пятой главе приведены результаты практической реализации и технико-экономического обоснования разработанного способа ОУО деталей.

Исследования показали, что объемная ЦПОУО наиболее эффективна для обработки мелких и средних деталей сложной формы на технологических операциях упрочнения, полирования, подготовки поверхностей под покрытия.

На основе разработанной методики оптимизации технологических параметров при ЦПОУО и созданной программы была разработана сервисная ИВС, позволяющая проектировать операционную технологию ЦПОУО и представлять результаты в виде операционной карты, выполненной в формате MS WORD.

Новая технология внедрена для отделочно-упрочняющей обработки лопаток турбин турбокомпрессоров на ОАО «Пенздизельмаш» и для отделочной обработки деталей мебельной фурнитуры на ООО «Экосоюз». Величина годового экономического эффекта составила 184 тыс. руб. для ОАО «Пенздизельмаш» и 115 тыс. руб. для ООО «Экосоюз».

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Разработана комплексная методика проектирования технологии ЦПОУО деталей сложной формы, позволившая повысить эффективность и расширить технологические возможности упрочнения и отделки.

2. Раскрыты закономерности водопадного движения рабочей загрузки, что позволило обоснованно подойти к выбору технологических режимов и конструктивных параметров оборудования, реализующего объемную ЦПОУО.

3. Разработана модель контактирования единичных частиц рабочей загрузки с поверхностью детали для оценки характера их взаимодействия и определения размеров единичных отпечатков.

4. Разработаны модели формирования качественных характеристик поверхности детали, позволяющие прогнозировать величину шероховатости поверхности, глубину упрочнения в зависимости от материала детали и динамического состояния массы загрузки рабочей камеры.

5. Решена задача оптимизации технологических параметров при ЦПОУО с учетом влияния свойств материала детали и конструктивных параметров оборудования.

6. Результаты экспериментальных исследований подтвердили адекватность математических моделей расчета параметров шероховатости, глубины упрочнения поверхности детали и продолжительности обработки и позволили уточнить достижимые качественные характеристики процесса.

7. Разработана сервисная ИВС для проектирования операционной технологии ЦПОУО.

8. Выполненные исследования показали, что ЦПОУО обеспечивает снижение шероховатости поверхности до $Ra\ 0,35...0,4$ мкм, формирование точностных параметров в пределах 7–8 квалитетов, степень упрочнения до 35% на глубине до 0,6 мм, формирование в поверхностных слоях сжимающих остаточных напряжений на глубине до 0,3 мм и повышение предела выносливости до 20%.

9. Годовой экономический эффект от внедрения научных разработок составил 299 тыс. руб.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Мартынов А. Н. Формирование микрорельефа поверхности при отделочно-упрочняющей обработке / А. Н. Мартынов, В. З. Зверовщиков, С. А. Нестеров // Технология и автоматизация производственных процессов в машиностроении: Сб. науч. тр. Сер. «Машиностроение». – Вып. 3. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. – С. 34–38.

2. Мартынов А. Н. О характере движения рабочей загрузки в контейнерах с планетарным вращением / А. Н. Мартынов, В. З. Зверовщиков, С. А. Нестеров // Технология и автоматизация производственных процессов в машиностроении: Сб. науч. тр. Сер. «Машиностроение». – Вып. 3. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. – С. 47–50.

3. Зверовщиков В. З. Моделирование движения рабочей загрузки в контейнерах с планетарным вращением / В. З. Зверовщиков, С. А. Нестеров // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы: Сб. статей Междунар. науч.-техн. конф. – Волжский: ВолжскИСИ филиал ВолгГАСА, 2002. – С. 215–218.

4. Мартынов А. Н. Влияние состава жидкости на эффективность финишной обработки деталей незакрепленным шлифовальным материалом / А. Н. Мартынов, В. З. Зверовщиков, Ю. В. Пронская, С. А. Нестеров // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы: Сб. статей Междунар. науч.-техн. конф. – Волжский: ВолжскИСИ филиал ВолгГАСА, 1997. – С. 165–168.

5. Мартынов А. Н. Влияние технологических режимов на шероховатость поверхности при финишной центробежно-планетарной обработке / А. Н. Мартынов, В. З. Зверовщиков, С. А. Нестеров // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы: Сб. статей Междунар. науч.-техн. конф. – Волжский: ВолжскИСИ филиал ВолгГАСА-Волжский, 2000. – С. 134–135.

6. Зверовщиков В. З. Моделирование процесса упрочнения поверхностей деталей в контейнерах с планетарным вращением / В. З. Зверовщиков, С. А. Нестеров, Ю. И. Просвирнин // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы: Сб. статей Междунар. науч.-техн. конф. – Волжский: ВолжскИСИ филиал ВолгГАСА, 2001. – С. 134, 135.

7. Мартынов А. Н. Повышение эффективности центробежно-абразивной обработки деталей в контейнерах с планетарным вращением / А. Н. Мартынов, В. З. Зверовщиков, Ю. В. Пронская, С. А. Нестеров // Повышение качества и эффективности в машино- и приборостроении: Материалы юбилейной науч.-техн. конф. — Н. Новгород: Изд-во НГТУ, 1997. — С. 82,83.

8. Зверовщиков В. З. Особенности взаимодействия частиц рабочей загрузки при объемной центробежно-планетарной обработке / В. З. Зверовщиков, С. А. Нестеров, А. Е. Зверовщиков // Приборостроение в аэрокосмической технике: Сб. докл. Всеросс. молодежной науч.-техн. конф. — Арзамас: Изд-во Арзамасского филиала НГТУ, 1999. — С. 240 — 241.

9. Зверовщиков В. З. Оптимизация технологических факторов при финишной обработке деталей незакрепленным шлифовальным материалом / В. З. Зверовщиков, С. А. Нестеров, Ю. В. Пронская // Точность автоматизированных производств: Сб. статей Междунар. науч.-техн. конф. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 1997. — С. 166—168.

10. Зверовщиков В. З. Динамическое упрочнение поверхностей деталей в контейнерах с планетарным вращением / В. З. Зверовщиков, А. Е. Зверовщиков, С. А. Нестеров, Ю. И. Просвирнин // Комплексное обеспечение показателей качества транспортных и технологических машин: Сб. статей Междунар. науч.-техн. конф. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. — С. 297—302.

11. Зверовщиков В. З. Исследование отделочно-упрочняющей обработки лопаток турбокомпрессоров в центробежно-планетарной установке с переносным вращением контейнеров / В. З. Зверовщиков, С. А. Нестеров, А. В. Неродигречка // Комплексное обеспечение показателей качества транспортных и технологических машин: Сб. статей Междунар. науч.-техн. конф. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. — С. 314—317.

12. Зверовщиков В. З. Ударная центробежная обработка поверхностей деталей / В. З. Зверовщиков, С. А. Нестеров, Ю. И. Просвирнин // Комплексное обеспечение показателей качества транспортных и технологических машин: Сб. статей Междунар. науч.-техн. конф. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2001. — С. 416—421.

13. Зверовщиков В. З. О механизме контактного взаимодействия шлифовального материала с обрабатываемой поверхностью при упрочняющей центробежной обработке деталей / В. З. Зве-

ровщиков, С. А. Нестеров, Ю. И. Просвирнин, А. Е. Зверовщиков // Сб. статей по материалам V Междунар. науч.-техн. конф. «Точность и надежность технологических и транспортных систем». – Пенза: ПДЗ, 1999. – С. 137–139.

14. Мартынов А. Н. Микрорельеф поверхности при отделочно-зачистной центробежной обработке деталей / А. Н. Мартынов, В. З. Зверовщиков, Ю. И. Просвирнин, С. А. Нестеров // Сб. статей по материалам IV Междунар. науч.-техн. конф. «Точность технологических и транспортных систем». – Ч. 2. – Вып. 7,8. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та; ПДЗ, 1998. – С. 156–158.

15. Нестеров С. А. Формирование поверхностно-упрочненного слоя при отделочно-упрочняющей обработке / С. А. Нестеров, А. Ю. Широлапов: Сб. материалов Междунар. симпозиума «Надежность и качество 2000». – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. – С. 155–158.

16. Нестеров С. А. Исследование отделочной обработки лопаток турбокомпрессоров в контейнерах с планетарным вращением при переносном движении водила // Прогрессивные технологии и оборудование в машиностроении и металлургии: Сб. материалов Всеросс. науч.-техн. конф. – Ч. 1. – Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2002. – С. 64–66.

17. Зверовщиков В. З. Метод численной оптимизации объемной отделочно-упрочняющей обработки поверхностно-пластическим деформированием / В. З. Зверовщиков, С. А. Нестеров // Интеллектуальная подготовка производства: Сб. статей Всеросс. науч.-практ. конф. – Пенза: Изд-во ПДЗ, 2003. – С. 64–66.

18. Зверовщиков В. З. Динамические характеристики массива рабочей загрузки в контейнерах с планетарным вращением / В. З. Зверовщиков, С. А. Нестеров, Ю. И. Просвирнин // Проблемы машиностроения и технологии материалов на рубеже веков: Сб. статей по материалам IV Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. – С. 258–260.

19. Зверовщиков В. З. Компьютерное моделирование поверхностного упрочнения поверхностей деталей в контейнерах с планетарным вращением / В. З. Зверовщиков, С. А. Нестеров // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. – № 2. – С. 167–176.

20. Зверовщиков В. З. О точностных характеристиках центробежной обработки деталей дискретным шлифовальным материалом / В. З. Зверовщиков, С. А. Нестеров, А. Е. Зверовщиков // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы: Сб. статей Междунар. науч.-техн. конф. — Волжский: ВолжскИСИ филиал ВолгГАСА, 2003. — С. 203–205.

21. Зверовщиков А. В. Устройство для камерной абразивной обработки деталей / А. В. Зверовщиков, А. Н. Мартынов, С. А. Нестеров, В. З. Зверовщиков // Решение о выдаче патента на изобретение по заявке № 2002106922/02(007128) от 18.03.2002.

Из фондов Российской национальной библиотеки

Нестеров Сергей Александрович

**Повышение эффективности центробежно-планетарной
отделочно-упрочняющей обработки деталей**

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

Редактор В. В. Чувашова

Технический редактор Н. А. Вялькова

Корректор Н. А. Сидельникова

Компьютерная верстка Н. В. Ивановой

Сдано в производство 19.11.03. Формат 60x84¹/16.

Бумага писчая. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,16.

Заказ № 773. Тираж 100.

Издательство Пензенского государственного университета.

440026, Пенза, Красная, 40

Отпечатано в типографии ПГУ

Из фондов Российской национальной библиотеки

Из фондов Российской национальной библиотеки

#21510
2003-A

21510

Из фондов Российской национальной библиотеки