

На правах рукописи

ДИАНОВ Александр Андреевич

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ  
С ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ ЗА СЧЁТ УПРАВЛЕНИЯ  
ПАРАМЕТРАМИ ТОЧНОСТИ ОСНОВЫ И ПОКРЫТИЯ**

Специальность 05.02.08 - Технология машиностроения

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Барнаул – 2010

Работа выполнена на кафедре "Общая технология машиностроения"  
ГОУВПО Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
ТАТАРКИН Евгений Юрьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
ЛЕОНОВ Сергей Леонидович

кандидат технических наук  
Шевелёва Елена Александровна

Ведущее предприятие: Новосибирский государственный  
технический университет

Защита состоится 24 декабря 2010 г. в 12:00 часов на заседании диссертационно-  
го совета Д212.004.01 при ГОУ ВПО "Алтайский государственный технический  
университет им. И.И. Ползунова" по адресу 656038 г. Барнаул, пр. Ленина 46.

Тел./факс: 8(3852)290-765

E-mail: yuoshevtsov@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ГОУ ВПО  
"Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова"

Автореферат разослан "23 ноября 2010 г"

Учёный секретарь  
диссертационного совета



Ю. О. Шевцов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Детали с износостойкими покрытиями применяются в парах трения машин и механизмов, а также в качестве режущих инструментов для обработки различных материалов. Выделяют несколько этапов жизненного цикла таких деталей: подготовка основы для нанесения покрытия (так называемой подложки), включающая размерную лезвийную обработку, шлифование и дробеструйную обработку; нанесение покрытия (газоплазменное, детонационное); шлифование покрытия и его финишная обработка, например, полирование или магнитно-абразивная обработка (МАО). В процессе эксплуатации рассматриваемых деталей происходит износ покрытия, которое может быть восстановлено.

В процессе шлифования основы на её поверхности появляется значительный дефектный слой, кроме того, волнистость основы после шлифования может превышать допустимые значения. Увеличение волнистости деталей с покрытиями уменьшает их долговечность из-за возрастания контактных напряжений в парах трения и преждевременного соприкосновения материала основы вершинами волнистой поверхности с трущейся деталью или окружающей средой при износе покрытия. Для уменьшения влияния волнистости основы на волнистость наносимого покрытия требуется увеличение объёма материала покрытия, что приводит к его перерасходу.

Применение прерывистых шлифовальных кругов (ПШК), снижающих теплонапряжённость процесса шлифования, позволяет уменьшить глубину дефектного слоя основы для нанесения покрытий, а также, при некоторых условиях, снизить волнистость обрабатываемой поверхности по сравнению со сплошными кругами, хотя этот вопрос до конца не изучен. Однако по мере износа ПШК волнистость и шероховатость обрабатываемой поверхности возрастают, поэтому необходимо увеличивать стойкость таких кругов.

При детонационном или газоплазменном нанесении износостойкого покрытия в его структуре возникают поры, уменьшающие его прочность. С другой стороны, по данным исследований Е. Ю. Татаркина, А. А. Ситникова поры дают возможность пропитывать покрытия различными импрегнаторами, что уменьшает силы резания на последующей операции шлифования и снижает шероховатость покрытия. Для реализации такой технологии необходимо разрабатывать способы контроля пористости покрытий, так как этот параметр после нанесения колеблется в значительных пределах.

Хорошо зарекомендовавшим себя методом финишной обработки является магнитно-абразивная обработка (МАО). Как и полирование, она применяется для достижения заданных параметров шероховатости, к тому же МАО - менее теплонапряжённый процесс, чем полирование. Однако предшествующая шлифовальная операция оставляет на поверхности покрытия волнистость, которая отрицательно сказывается на эксплуатационных показателях деталей. Решения задачи по уменьшению волнистости в процессе МАО в литературе не отражено.

Наличие нерешённых задач на каждом из этапов механической обработки процесса изготовления деталей с износостойкими покрытиями позволяет утверждать, что выбранная тема актуальна, и сформулировать цель исследования.

Актуальность диссертационной работы подтверждается тем, что она выполнялась в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 гг.)» по проекту № 2.2.1.1/4799 и федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг.» «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров совместно с малыми инновационными предприятиями в области энергосбережения» ГК № 02.740.11.0828.

**Цель работы.** Технологическое обеспечение долговечности деталей за счёт снижения волнистости на финишных операциях обработки основы и окончательной обработки покрытия.

В работе решаются следующие **задачи**:

1. Установить на основе математического моделирования взаимосвязь между режимами резания, конструктивно-геометрическими параметрами прерывистого шлифовального круга и параметрами волнистости при плоском шлифовании с учётом вероятностного характера процесса.

2. Разработать технические решения, позволяющие снизить параметры волнистости за счёт повышения стойкости прерывистого шлифовального круга и провести их экспериментальную проверку.

3. Создать методику расчёта вероятности изготовления деталей годных по параметрам волнистости с учётом конструктивно-геометрических параметров прерывистого шлифовального круга и режимов обработки на операции плоского шлифования поверхности основы.

4. Разработать технологию и инструмент для магнитно-абразивной обработки на финишных операциях изготовления деталей с износостойкими покрытиями.

5. Провести апробацию результатов исследования в условиях производства.

**Методы исследования**, приведённые в диссертации, базируются на научных основах технологии машиностроения, теории резания, математической статистики, системного анализа и методологии поискового конструирования, теоретической механике, цифровой обработке сигналов.

**Научная новизна.**

1. Разработана математическая модель, устанавливающая взаимосвязь между высотными и шаговыми параметрами волнистости обработанной поверхности, конструктивно-геометрическими параметрами ПШК и режимами обработки на операции плоского шлифования.

2. Установлено, что распределение вероятностей параметров волнистости подчиняется логарифмически нормальному закону, что позволяет определять на

операции плоского прерывистого шлифования вероятность получения деталей, годных по параметрам волнистости.

3. Аналитически определены условия непрерывности контакта рабочей поверхности выступов круга и обрабатываемой поверхности, при которых происходит снижение волнистости.

### **Практическая значимость работы:**

1. Разработаны методика и программное обеспечение расчёта параметров волнистости обрабатываемой поверхности и вероятности получения годных деталей с учётом конструктивно-геометрических параметров прерывистого шлифовального круга и режимов обработки.

2. Предложен комплекс конструкторско-технологических решений (конструкция прерывистого шлифовального круга, патент РФ №88600, способ определения поверхностных дефектов, патент РФ №2377536, устройство для пропитки шлифовального круга, патент РФ № 84287), позволяющий повысить качество обработки за счёт повышения стойкости инструмента.

3. Разработана технология и инструмент для магнитно-абразивной обработки, позволяющие снизить волнистость поверхности на финишных операциях обработки покрытия.

**Реализация результатов.** Результаты работы внедрены на ЗАО "Барнаулский патронный завод". Операция плоского прерывистого шлифования и МАО используются при изготовлении дисков гидрораспределителя.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на 6-ой Всероссийской научно-практической конференции "Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе" (Новосибирск - 2008), 5-ой Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных "Наука и молодёжь" (Барнаул - 2008), международной конференции "Инновационная деятельность предприятий по исследованию, обработке и получению современных конструкционных материалов и сплавов" (Орск - 2008), 7-ой Всероссийской научно-практической конференции "Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе" (Новосибирск - 2009), 6-ой Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных "Наука и молодёжь" (Барнаул - 2008), Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения профессора Муханова Ивана Ивановича "Современные проблемы в технологии машиностроения" (Новосибирск - 2009), 8-ой Всероссийской научно-практической конференции "Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе" (Новосибирск - 2009).

**Публикации.** Основные результаты диссертационной работы изложены в 14 печатных работах, из них 2 - в журналах, входящих в перечень ВАК, получено 3 патента РФ на полезную модель и 1 патент на изобретение.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, четырёх глав, общих выводов и библиографического списка из 100 наименований, изложена на 152 страницах машинописного текста, включая 82 иллюстрации и 16 таблиц.

### **Содержание работы.**

**Во введении** содержится обоснование актуальности работы и ее основные положения, составляющие предмет исследования.

**В первой главе** приведены виды покрытий и область их применения, способы изготовления деталей с износостойкими покрытиями, проанализированы трудности, возникающие на различных этапах жизненного цикла таких деталей. Представлен технологический процесс изготовления деталей с износостойкими покрытиями, и выявлены нерешённые задачи по каждому из его этапов. Анализ выполнен на основании работ отечественных и зарубежных авторов.

Отмечено, что при шлифовании основы для нанесения покрытий на её поверхности не допустимо образование прижогов, которые появляются тогда, когда температура в зоне резания превышает критические значения и сохраняется определённое время, из-за этого в структуре обрабатываемого материала происходят качественные изменения. Тепловую напряжённость процесса шлифования возможно снизить следующими способами: выбором оптимальных режимов резания с помощью математического моделирования; смазывающе-охлаждающими техническими средствами (СОТС); применением ПШК. Выбор последних на операции шлифования основы для нанесения покрытий продиктован их эффективностью в снижении теплонапряжённости, относительно невысокой стоимостью изготовления, отсутствием дополнительных затрат на СОТС и возможностью снижения волнистости.

Проанализированы преимущества и недостатки прерывистого шлифования, потенциальные пути уменьшения недостатков. К недостаткам ПШК можно отнести: увеличение ударных нагрузок на круг и обрабатываемую поверхность и увеличенный износ выступов ПШК на участках, воспринимающих максимальные ударные нагрузки (фронтальные зоны). Рассмотрены методики расчёта геометрических параметров обрабатываемой поверхности и методики выбора геометрии прерывистых кругов. Выяснено, что при расчёте волнистости обработанной поверхности не учитывается прерывистость процесса шлифования и эффект самоперерезания волн, а выбор количества и длины выступов и впадин ПШК ведётся без учёта вибраций круга.

Рассмотрены размерные связи основы с наносимым слоем покрытия и готовой детали. В результате чего выяснено, что при слое покрытия менее 50 мкм происходит копирование волнистости основы на готовой детали с покрытием, что уменьшает их долговечность. А при слое более 50 мкм волнистость основы, оставшаяся после шлифования, устраняется наносимым слоем покрытия, однако при этом наблюдается перерасход наносимого материала покрытия, часть которого уходит на заполнение впадин волнистой поверхности основы.

Рассмотрены способы контроля пористости. Проведён обзор технологий финишной обработки и оценена потенциальная возможность их применения для обработки износостойких покрытий. Сделаны выводы, сформирована цель и основные задачи работы.

**Вторая глава** посвящена исследованию механизма образования волнистости при плоском прерывистом шлифовании периферией круга. Динамическая система плоскошлифовального станка рассмотрена двухмассовой, имеющей две степени свободы, однако анализ физических свойств рассматриваемой группы деталей позволил сделать ряд допущений при разработке математической модели, а именно: обрабатываемые детали считаем абсолютно жёсткими; при рассмотрении вибраций в системе шлифовальный круг – обрабатываемая деталь принимаем, что колеблется только круг, так как жёсткость стола станка на порядок больше жёсткости шпиндельного узла; контактной жёсткостью зоны шлифовальный круг-заготовка пренебрегаем, так как пластические деформации материала покрытия в зоне его контакта со шлифовальным кругом отсутствуют для рассматриваемого типа покрытий; шлифовальный круг вращается равномерно с постоянной скоростью, а заготовка совершает равномерное поступательное движение; рассматривается относительно тонкий слой покрытия, в пределах которого его строение и физические свойства изотропны по всей рассматриваемой глубине; температурными деформациями круга и обрабатываемой детали пренебрегаем вследствие их малости. На основании исследований профессора В.А. Прилуцкого выбраны входные и выходные параметры и построен чёрный ящик математической модели. Модель учитывает прерывистость процесса, эффект самоперерезания волн, вибрацию шлифовального круга с гармоникой первого порядка и многопроходность обработки. Система координат для математической модели представлена на рисунке 1.

Составлено выражение для определения профиля обрабатываемой поверхности в плоскости  $h0z$ :

$$\left. \begin{aligned} h_b &= A_1 \cdot \sin \gamma + B \cdot \gamma + \frac{R(\tau, \gamma) \cdot \sin \gamma}{\cos \gamma + B}, \\ z_b &= A_1 (1 - \cos \gamma) + W(\psi_n, \alpha_{впад}, N_{выст}, \varphi_n), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $h_b$  и  $z_b$  – координаты профиля обработанной поверхности в системе координат  $h0z$ , мкм;

$\tau$  – время работы круга;

$\gamma$  – угол поворота шлифовального круга, рад;

$A_1$  – амплитуда колебаний центра шлифовального круга относительно оси вращения, гармоника первого порядка, удвоенный эксцентриситет,  $2E$ , м;

$W(\psi_n, \alpha_{впад}, N_{выст}, \varphi_n)$  – текущая высота волны, зависящая от прерывистости процесса, м;

$\psi_n$  – фазовое положение первого выступа относительно оси симметрии круга, град.;

$\alpha_{впад}$  – угол впадины, град.;

$N_{\text{выс}}$  – количество выступов круга;

$\varphi_n$  – угол поворота круга, отсчитываемый от конца n-ого до начала n+1-ого выступа, град.;

$B$  – коэффициент относительной скорости круга и заготовки:

$$B = \frac{S_{\text{пр}} \cdot R(\tau, \gamma)}{V_k}, \quad (2)$$

где  $V_k$  скорость вращения шлифовального круга, м/с;

$S_{\text{пр}}$  – продольная подача, м/с;

$R(\tau, \gamma)$  – радиус инструмента с учётом износа, м.

При нахождении в зоне резания выступа текущая высота волны  $W$  принимается равной нулю. При повороте круга от начала до середины впадины включительно  $W$  рассчитывается по второй формуле выражения (3), а при повороте от середины до конца впадины  $W$  определяется по третьей формуле выражения (3):

$$\left. \begin{aligned} 1) W &= 0, \\ 2) W &= R(\tau, \gamma) \cdot (1 - \cos(\varphi_n \cdot S_{\text{пр}} / 60V_k)), \\ 3) W &= R(\tau, \gamma) \cdot (1 - \cos(\varphi_{\text{впад}} - \varphi_n) \cdot S_{\text{пр}} / 60V_k), \end{aligned} \right\} (3)$$

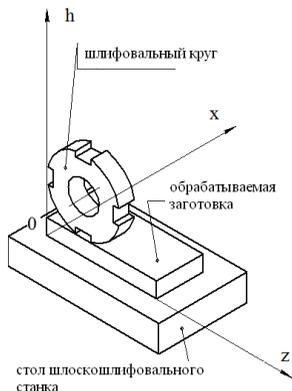


Рисунок 1. Система координат для расчёта профиля поверхности

Отмечено, что параметры волнистости не являются инвариантными и лежат в некотором интервале значений в зависимости от случайной величины фазового сдвига  $\Psi_{\text{П}}$ . Исследуемые параметры волнистости определяются из рисунка 2 по выражениям:

средний шаг волнистости  $S_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} S_{w_i}; \quad (4)$

высота волнистости  $W_z = 1/5(W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5); \quad (5)$

максимальная высота волны  $W_{\text{max}} = \max_{i=1}^{i=n} (W_i). \quad (6)$

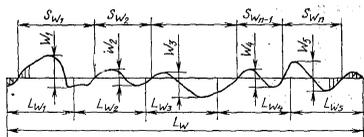


Рисунок 2. Параметры волнистой поверхности

Для прогнозирования численных параметров волнистости необходимо знать закон их изменения от влияния случайных факторов, например, от сдвига фаз поворота шлифовального круга от прохода к проходу. Нахождение закона распределения рассмотрено на примере функции  $W_{\text{max}}=F(E)$ , при каждом значении эксцентриситета круга  $E$  проводилось 1000 расчётов по нахождению величины  $W_{\text{max}}$ .

В каждом расчёте случайной входной величиной являлся фазовый сдвиг  $\psi_{П}$ , остальные входные параметры не изменялись. Таким образом, для каждого значения  $E$  получили множество значений  $W_{max}$ , вероятность их выпадения подчиняется некоторому закону распределения, рисунок 3.

Было установлено, что распределение вероятностей максимальной высоты волнистости ( $W_{max}=F(E)$ ) подчиняется логарифмически нормальному закону:

$$\left. \begin{aligned} f(W_{max}) &= 0, \text{ при } W_{max} \leq 0 \\ f(W_{max}) &= \frac{1}{W_{max} \cdot \sigma_z \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(\ln W_{max} - \ln x_0)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right), \text{ при } W_{max} > 0 \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

где  $f(W_{max})$  - плотность распределения, 1/мкм;  $\sigma_z$  и  $x_0$  - параметры распределения.

Коэффициенты  $\sigma_z$  и  $x_0$  найдены по критерию  $\chi^2$ ;  $\sigma_z = 0,5$ ;  $x_0 = 9$  мкм.

Зная закон распределения можно рассчитать вероятность получения деталей с волнистостью, превышающей максимально допустимые значения  $W_{max}$ ,  $W_{z}$ ,  $S_w$  по выражению:

$$P(w_{зад} \leq W \leq w_2) = \int_{w_{зад}}^{w_2} f(w) dw \quad (8)$$

С помощью разработанной математической модели произведён расчёт параметров волнистости обработанной поверхности. Результаты моделирования позволяют назначать конструктивно-геометрические параметры ПШК и определять допустимую величину его биения  $A_1$  при плоском прерывистом шлифовании для получения параметров волнистости обрабатываемой поверхности не превышающих, с заданной долей вероятности, максимально допустимые значения.

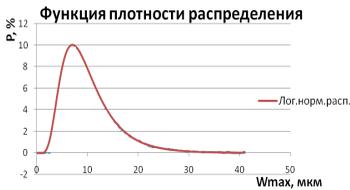


Рисунок 3. Функция плотности распределения вероятностей  $f(W_{max})$  на возможном интервале её значений, для зависимости  $W_{max}=F(E)$ .

**В третьей** главе представлен экспериментальный стенд и методика проведения эксперимента, включающая измерение профиля поверхности образцов, расчёт параметров волнистости, измерение износа выступов ПШК.

Целью эксперимента было выявить зависимости изменения волнистости обрабатываемой поверхности от продольной подачи и количества проходов при шлифовании прерывистым кругом, а также определить степень и характер износа пропитанных выступов в

сравнении с непропитанными выступами.

В эксперименте использовался шлифовальный круг марки 25A F46 LR 35м/с 2кл с шестью наклонными выступами, угол наклона которых составляет  $68^\circ$ . Выступы 1,3,5 пропитаны парафином техническим Т – 1 ГОСТ 23683 – 89. Шлифовались образцы из стали 40Х, твёрдость 50 HRC в количестве 6 штук.

Для снятия профилограммы с образцов использовался профилометр-профилограф 250, соединённый с аналого-цифровым преобразователем и компьютером. Анализ профилограмм проводился с помощью вейвлетного преобразования (ВП) сигнала в среде Mat Lab, которое, в отличие от преобразования Фурье (ПФ), обеспечивает высокую точность представления локальных особенностей сигналов (скачков). Вейвлетное преобразование профиля поверхности образцов использовалось в качестве инструмента для выделения неровностей профиля с отношением длины к высоте больше 50 ( $L/H > 50$ ), что принималось за критерий волнистости. Преимущество ВП по сравнению с ПФ в том, что время появления частот здесь не утеряно.

Построена кривая профиля выступов ПШК, рисунок 4. Для определения изменения радиуса шлифовального круга составлено выражение:

$$R_r(\tau, \alpha) = \begin{cases} R_0 - \Delta R, \text{ при } \alpha \in \left[ 0; \frac{\alpha_{\text{выст}}}{2} - \Delta\alpha \right] \\ R_0 - \Delta R - \Delta H, \text{ при } \alpha \in \left[ \frac{\alpha_{\text{выст}}}{2} - \Delta\alpha; \frac{\alpha_{\text{выст}}}{2} \right] \end{cases}, \quad (9)$$

где  $\Delta R$  - средний износ тыльной части выступа, мм;  $R_0$  - радиус круга после правки, мм;  $\Delta H$  - уменьшение высоты выступа на фронтальной зоне, мм;  $\Delta\alpha$  - угол образования фронтальной зоны, град.;  $\alpha_{\text{выст}}$  - угол выступа.

$$\Delta H = a \cdot (\Delta\alpha)^b, \quad (10)$$

где  $a, b$  - коэффициенты, определяемые экспериментально. Изменение  $\Delta H$  и  $\Delta\alpha$  от времени  $\tau$  определяется из условий:

$$\begin{cases} \Delta\alpha = A_\alpha (1 - \exp(-\tau/T)) \\ \Delta H = A_H (1 - \exp(-\tau/T)) \end{cases}, \quad (11)$$

$$\min_{T, A_H, A_\alpha} \left\{ [\Delta H_i - A_H (1 - \exp(-\tau_i/T))]^2 + [\alpha_i - A_\alpha (1 - \exp(-\tau_i/T))]^2 \right\}, \quad (12)$$

где  $A_L, A_H$  - коэффициенты, определяемые из выражения (9) методом наименьших квадратов;  $T$  - тенденция изменения параметров  $\Delta H$  и  $\Delta\alpha$  во времени.

Значения коэффициентов выражений (10-12) и средний износ тыльной части выступов представлены в таблице:

Характеристика выступов	Коэффициенты					Средний износ $\Delta R$ , мм
	$A_H$	$A_\alpha$	$a$	$b$	$T$	
Пропитанный	37,7	43,5	$0,6 \cdot 10^{-3}$	2,65	13,7	0,122
Непропитанный	41,6	48,3	$2,8 \cdot 10^{-3}$	1,9	13,7	0,131

Средние значения измеренных параметров волнистости были сравнены с рассчитанными при тех же режимах обработки. Адекватность математической модели проверялась по критерию Фишера. Обнаружено совпадение расчётных и экспериментальных зависимостей для  $W_{\text{max}}$  и  $W_z$  с погрешностью не более 15%.

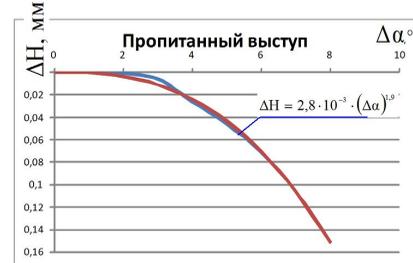
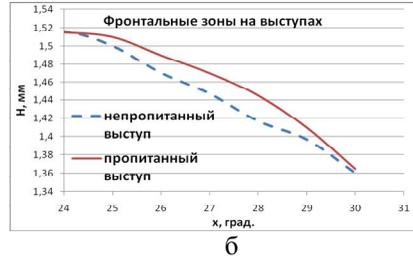
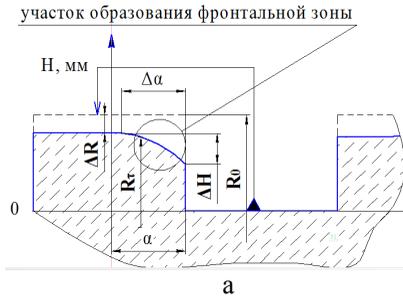


Рисунок 4. Анализ характера изменения фронтальной зоны:

а - схема измерения, б - измеренный участок фронтальной зоны; в, г- функции, аппроксимирующие профиль фронтальной зоны.

Представлены конструктивно-технологические решения по обеспечению геометрических параметров качества деталей с покрытием. Для уменьшения волнистости обрабатываемой поверхности разработана конструкция ПШК, увеличивающая период его стойкости, на которую получен патент РФ на полезную модель №88600. Поиск конструкции велся с помощью метода морфологического анализа и синтеза конструкторских решений. Был изготовлен опытный ПШК, отличительной особенностью которого является то, что его выступы в проекции расположены наклонно, рисунок 5. Наклон выступов сделан для обеспечения их перекрытия в зоне резания, т. е. для создания таких условий, при которых последующий выступ начнёт резание до того, как закончит предыдущий, и отрыв круга от обрабатываемой поверхности не произойдёт.



Рисунок 5. Прерывистый шлифовальный круг (патент РФ №88600)

Для расчёта количества выступов сформулировано условие, при котором обеспечивается безотрывность контакта выступов круга и обрабатываемой поверхности:

$$N_B \geq \frac{S_{\text{пр}} \sqrt{\frac{2t}{R}}}{2\pi \cdot A_i \cdot n}, \quad (13)$$

где  $N_B$  – количество выступов круга;  $S_{\text{пр}}$  – продольная подача, м/с;  $t$  – глубина резания, м;  $R$  – радиус шлифовального круга, м;  $A_i$  – амплитуда колебаний шлифовального круга, м;  $n$  – частота вращения шлифовального круга,  $\text{с}^{-1}$ .

Из условия перекрытия выступов определён угол их наклона, показанный на рисунке 6:

$$\text{tg}\alpha > \frac{l_2}{H}, \quad (14)$$

где  $H$  – высота (ширина) круга, мм;  $l_2$  – длина выступа круга в нормальном сечении, мм.

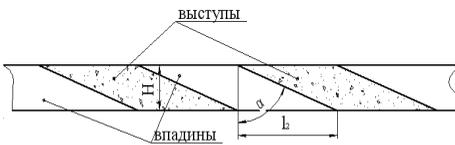


Рисунок 6. Наклонные выступы прерывистого шлифовального круга

В исследованиях Л.В. Худобина, Г.В. Чиркова отмечено положительное влияние пропитки шлифовальных кругов на их режущие свойства и период стойкости. Для уменьшения износа фронтальных зон на выступах ПШК эти зоны следует пропитывать веществами, повышающими их прочность, например, бакелитом, а тыльные участки выступов целесообразно пропитывать, например, парафином для обеспечения смазывающего эффекта. Для осуществления такой пропитки выступов круга разработано устройство, показанное на рисунке 7, на которое получен патент РФ на полезную модель №84287.

Для шлифования нанесённого покрытия пользовались существующими рекомендациями, в которых, в частности, отмечается, что пропитка покрытий до шлифования составами (импрегнаторами), например, парафином, обеспечивающими смазывающий эффект, позволяет уменьшить силы резания в процессе шлифования и шероховатость поверхности. Для определения объёма импрегнатора, способного проникнуть в поры покрытия, был разработан новый способ определения пористости, на который получен патент РФ на изобретение №2377536. Его преимуществом является безвредность для окружающей среды и человека, а также дополнительная возможность определения относительной опорной площади поверхности, являющейся важной эксплуатационной характеристикой.



Рисунок 7. Схема комбинированной пропитки выступов ПШК

В четвёртой главе представлен алгоритм расчёта конструктивно-геометрических параметров ПШК и режимов обработки на операции плоского

шлифования поверхности основы с использованием математической модели и предложенного ПШК. В разработанном алгоритме осуществляется выбор конструктивно-геометрических параметров ПШК и ограничения максимальной величины его биения по необходимому проценту изготовления годных деталей с параметрами волнистости, не превышающими максимально допустимые.

В качестве финишной обработки выбрана MAO как менее теплонапряжённый способ по сравнению с полированием. Снижение теплонапряжённости необходимо по причине разных коэффициентов теплового расширения основы и покрытия, из-за чего возможно растрескивание покрытия и отделение его от основы. Описан эксперимент по MAO деталей с покрытием. Было предложено устройство для MAO, на которое получен патент РФ на полезную модель № 83211. Устройство отличается тем, что его режущие элементы (зёрна магнитно-абразивного порошка) выполнены с покрытием из поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Для эксперимента применялся станок ГФ2171С5 с установленным на нём индуктором на постоянных магнитах диаметром 170 мм. Обработывалось шесть образцов размером 30×65×12 мм со шлифованным покрытием из оксида алюминия  $Al_2O_3$  (шероховатость  $Ra=3,5$  мкм). Три образца обрабатывали магнитно-абразивным порошком, не покрытым ПАВ, три другие - новой порцией порошка, покрытого ПАВ ОП-10 по ГОСТ 8433 – 81. Режимы обработки: время обработки  $t=5$  минут, частота вращения магнитного индуктора  $n=200$  мин<sup>-1</sup>, зазор между индуктором и обрабатываемой поверхностью 1 мм, продольная и поперечная подачи отсутствовали. Использовался магнитно-абразивный порошок TiC+Fe зернистостью 630×250 мкм.

По результатам эксперимента установлено, что MAO уменьшает волнистость поверхности износостойкого покрытия, оставшуюся после шлифования. Средние измеренные параметры волнистости до MAO:  $Wz=8,4$  мкм,  $W_{max}=10,6$  мкм,  $Sw=3550$  мкм, после MAO без ПАВ –  $Wz=9$  мкм, после MAO с ПАВ  $Wz=7,5$  мкм. Высота волнистости  $Wz$  уменьшилась в среднем на 3 мкм, средний шаг волнистости  $Sw$  остался без изменений. То есть можно говорить о том, что применение разработанного устройства уменьшает только высотные параметры волнистости.

Основное назначение MAO - это уменьшение шероховатости поверхности. Для проверки отсутствия отрицательного влияния ПАВ, покрывающих зёрна, на этот параметр была измерена шероховатость образцов до и после MAO, анализ результатов, представленных на рисунке 8, показал, что предложенное устройство не увеличивает шероховатость по сравнению с прототипом.

После внесения изменений в техпроцесс изготовления деталей с покрытиями он представляет следующую последовательность: подготовка материала для нанесения, шлифование основы разработанным ПШК, дробеструйная обра-

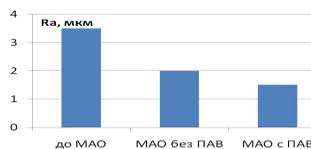


Рисунок 8. Диаграмма шероховатости поверхности покрытия при магнитно-абразивной обработке

ботка основы, нанесение покрытия, измерение пористости покрытия и его пропитка, шлифование покрытия, MAO покрытия.

Произведён расчёт ожидаемого годового экономического эффекта от спроектированной операции плоского прерывистого шлифования дисков гидрораспределителя на ЗАО "Барнаульский патронный завод" по выражению:

$$\mathcal{E}_z = \mathcal{E}_T + \mathcal{E}_\tau + \mathcal{E}_A, \quad (15)$$

где  $\mathcal{E}_T$  – уменьшение расходов связанное с увеличением стойкости ПШК;  $\mathcal{E}_\tau$  – экономия штучного времени;  $\mathcal{E}_A$  – уменьшение расхода правящего алмазного инструмента. Основным пунктом экономии является уменьшение затрат на правку ПШК. Ожидаемый годовой экономический эффект составил 135005 руб.

Производственные испытания показали, что благодаря снижению волнистости  $W_z$  рабочей поверхности на 5 мкм долговечность дисков гидрораспределителя, у которых поверхность для нанесения износостойкого покрытия была обработана разработанным ПШК, а покрытие из  $Al_2O_3$ , нанесённое детонационным способом, обработано предложенным устройством для магнитно-абразивной обработки, увеличивается на 20%.

#### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработана математическая модель для расчёта высотных и шаговых параметров волнистости в зависимости от параметров инструмента и его эксцентриситета с учётом многопроходности обработки и случайных характеристик взаимодействия прерывистого шлифовального круга и заготовки.
2. Установлен закон распределения вероятности параметров волнистости обработанной поверхности при прерывистом шлифовании и разработана методика расчёта вероятности брака по параметрам волнистости.
3. Создана методика расчёта параметров прерывистого шлифовального круга обеспечивающих заданные значения параметров волнистости поверхности основы.
4. Доказано, что суммарный вклад, вносимый выступами прерывистого шлифовального круга, рассчитанного по разработанной методике, в общую волнистость шлифованной поверхности не превышает 2% по сравнению с обычным шлифованием.
5. Экспериментально установлен характер износа выступов прерывистого шлифовального круга и предложены варианты их пропитки бакелитом и парафином, обеспечивающие снижение износа инструмента.
6. Спроектированные технология и устройство для MAO, с зёрнами магнитно-абразивного порошка, покрытыми ПАВ, при обработке износостойкого покрытия снижает волнистость его поверхности, оставшуюся после операции шлифования, на величину до 30% и не увеличивает её шероховатость.
7. Результаты производственных испытаний дисков гидрораспределителя показали, что шлифование основы комбинировано-пропитанным ПШК и магнитно-абразивная обработка нанесённого покрытия предложенным устройством снижает волнистость рабочей поверхности дисков в среднем на 5 мкм и повышает долговечность детали на 20%.

**Основные положения диссертации отражены в следующих публикациях:**

Публикации в изданиях, включённых в перечень периодических изданий ВАК РФ:

1. Дианов, А.А. Образование волнистости при плоском прерывистом шлифовании периферией круга. / А.А. Дианов, Е.Ю. Татаркин, В.А. Терентьев. // Ползуновский вестник – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. – № 1 – 2. – С. 127 – 131.
2. Дианов А.А. Моделирование волнообразования на детали при плоском шлифовании кругами с прерывистой периферией / А.А. Дианов, Е.Ю. Татаркин, В.А. Терентьев. // Обработка металлов – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. – № 1. – С. 33 – 34.

Патенты на полезную модель:

3. Патент 83211 Российская федерация, МПК<sup>8</sup> В 24 D 17/00. Устройство для мамино-абразивной обработки. / Е.Ю. Татаркин, А.А. Ситников, Я.Г. Мостовая, А.А. Дианов. – 2008141877/22; заяв. 22.10.2008; опубл. 27.05.2009, Бюл. № 15.
4. Патент 84287 Российская федерация, МПК<sup>8</sup> В 24 D 18/00. Устройство для пропитки шлифовального круга. / Е.Ю. Татаркин, А.А. Ситников, Я.Г. Мостовая, А.А. Дианов. – 2009110423/22; заяв. 23.03.2009; опубл. 10.07.2009, Бюл. № 19.
5. Патент 88600 Российская федерация, МПК<sup>8</sup> В 24 D 5/10. Прерывистый шлифовальный круг. / В.А. Терентьев, Е.Ю. Татаркин, В.А. Фёдоров, А.А. Дианов. – 2009128097/22; заяв. 20.07.2009; опубл. 20.11.2009, Бюл. № 32.

Патент на изобретение:

6. Патент 2377536 Российская федерация, МПК<sup>8</sup> G 01 N 15/08. Способ определения поверхностных дефектов. / Е.Ю. Татаркин, А.А. Ситников, Я.Г. Мостовая, А.А. Дианов. – 2008120271/28; заяв. 21.05.2008; опубл. 27.12.2009, Бюл. № 36.

Публикации в других изданиях:

7. Дианов, А.А. Основные направления улучшения изготовления деталей с покрытиями. / А.А. Дианов, Е.Ю. Татаркин. // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе: 6-ая Всероссийская научно-практическая конференция. Секция «Технология. Материалы». – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2008. – С. 7 – 10.
8. Дианов, А.А. Контроль пористости покрытий. / А.А. Дианов, Е.Ю. Татаркин. // Наука и молодёжь: 5-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных. Секция «Машиностроение», подсекция «Технология машиностроения». – Барнаул, 2008.
9. Дианов, А.А. Расчёт профиля прерывистых кругов / А.А. Дианов. // Инновационная деятельность предприятий по исследованию, обработке и получению современных конструкционных материалов и сплавов: сборник докладов Международной конференции. Орск, Орский гуманитарно-технологический. – М: Машиностроение, 2009. – С. 365 – 369.
10. Дианов, А.А. Моделирование волнообразования на детали при плоском шлифовании. / А.А. Дианов, Е.Ю. Татаркин, В.А. Терентьев. // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе: 7-ая Всероссийская научно-практическая конференция. Секция «Технология. Материалы». – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2009. – С. 33 – 35.

- 11.** Дианов, А.А. Анализ изменения профиля прерывистого шлифовального круга в течение периода стойкости. / А.А. Дианов, Е.Ю. Татаркин. // Наука и молодёжь: 6-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных. Секция «Машиностроение», подсекция «Технология машиностроения». – Барнаул, 2009.
- 12.** Дианов, А. А. Комбинированная пропитка прерывистых шлифовальных кругов. / А.А. Дианов, В.А.Терентьев, Е.Ю. Татаркин. // Современные проблемы в технологии машиностроения: Всероссийская научно-практическая конференция, посвящённая 100-летию со дня рождения профессора Муханова Ивана Ивановича. Секция «Размерное формообразование». – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – С. 76 – 79.
- 13.** Дианов, А. А. Обеспечение качества окончательной механической обработки деталей с износостойкими покрытиями. / А.А. Дианов. // Современные проблемы в технологии машиностроения: Всероссийская научно-практическая конференция, посвящённая 100-летию со дня рождения профессора Муханова Ивана Ивановича. Секция «Размерное формообразование». – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – С. 80 – 83.
- 14.** Дианов А.А. Контроль поверхности износостойкого покрытия при шлифовании. / А.А. Дианов, Е.Ю. Татаркин. // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе: 8-ая Всероссийская научно-практическая конференция. Секция «Технология». – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2010. – С 17 – 20.

Подписано в печать 22.11.2010. Формат 60x84 1/16.

Печать – цифровая. Усл.п.л. 0,93.

Тираж 100 экз. Заказ 2010 - 583

Отпечатано в типографии АлтГТУ,  
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46

тел.: (8–3852) 36–84–61

Лицензия на полиграфическую деятельность  
ПЛД №28–35 от 15.07.97 г.