

На правах рукописи

Чумакова Елена Валентиновна

УДК 621.923

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ПЛОСКОГО АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ
ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ижевск – 1998

Работа выполнена в Ижевском государственном техническом университете.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент
Г. Х. ЮСУПОВ.

Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор
Ф. Ю. СВИТКОВСКИЙ.

кандидат технических наук
Ю. И. ШИШКИН

Ведущая организация – ИЖНТИ "ПРОГРЕСС" г. Ижевск

Защита состоится "22" сентября 1998 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 064.35.02 в Ижевском государственном техническом университете.

Адрес университета: 426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7, ИжГТУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ижевского государственного технического университета.

Автореферат разослан "20" июля 1998 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

доктор технических наук, профессор

Л. Т. КРЕКНИН

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Решение задачи получения конкурентоспособной продукции невозможно без применения современных прогрессивных технологических процессов механической обработки с использованием новых конструкций режущих инструментов.

Особенно актуально применение прогрессивных технологий при изготовлении деталей из труднообрабатываемых материалов, где основную группу составляют титановые сплавы. По сравнению с известными сплавами из железа, никеля и алюминия титановые сплавы обладают отличными физико-механическими и эксплуатационными свойствами, благодаря которым они хорошо зарекомендовали себя практически во всех отраслях промышленности.

По мнению известных ученых, таких как А. Н. Резников, П. И. Ящерицын, Л. А. Паньков, обработка титановых сплавов на оптимальных режимах резания с использованием алмазных инструментов позволяет обеспечить не только высокую производительность, но и высокую точность и чистоту обработки, а также улучшить эксплуатационные свойства деталей.

Перспективным направлением получения гарантированного качества поверхности, обеспечивающего повышение долговечности, надежности эксплуатационных характеристик машин является алмазное шлифование с непосредственным подводом СОТС в зону резания.

Дальнейшее изучение физико-технологических особенностей процесса алмазного шлифования титановых сплавов, расширения области его эффективного применения как способа повышения эксплуатационных характеристик изделий, является актуальной задачей.

Цель работы. Разработка научно обоснованных технологических рекомендаций по плоскому алмазному шлифованию периферией круга деталей из титановых сплавов и внедрение результатов исследований

в производство.

Задачи исследования:

- теоретическое исследование влияния способа подвода СОТС на температуру режущего зерна;
- проектирование и изготовление круга, работающего по схеме непосредственного подвода СОТС в зону резания, и исследование показателей его работоспособности;
- исследование тепловых процессов при алмазном шлифовании спроектированным кругом;
- анализ показателей качества обработки и разработка технологических рекомендаций по шлифованию с использованием специального алмазного круга с гарантированным подводом СОТС в зону резания применительно к схеме плоского шлифования периферией круга.

Методы исследования. В работе применялись теоретические и экспериментальные методы исследования. К теоретическим методам можно отнести теоретические исследования теплового режима работы режущих зерен и аналитическое исследование тепловых процессов при шлифовании, а также методы математической статистики.

Экспериментальные методы проводились с использованием современного оборудования и средств измерения в лабораториях ВФ ИжГТУ и подразделениях ГПО "Воткинский завод", часть из них была построена с применением планирования экспериментов по методу ПФЭ.

Научная новизна. Впервые проведено комплексное исследование процесса плоского алмазного шлифования периферией круга с внутренним подводом СОТС в зону резания, установлено влияние условий обработки на основные технологические показатели процесса: точность, качество и физическое состояние поверхностного слоя.

Впервые проведены экспериментальные исследования силовых зависимостей при плоском алмазном шлифовании периферией круга с

с внутренним подводом СОТС. Предложена автоматизированная обработка экспериментальных данных по программе "Регрессия".

Автором предложена методика автоматизированного выбора рациональных режимов резания при работе кругом с внутренним подводом СОТС в зону резания.

Практическая ценность. Результаты исследований использованы при определении рациональных режимов шлифования деталей из титановых сплавов, изготавливаемых на ГПО "Воткинский завод", и разработке технологических рекомендаций по использованию процесса алмазного шлифования с непосредственным подводом СОТС в производстве.

Апробация. Материалы диссертации докладывались на: II-ой конференции молодых ученых (Ижевск, 1990), XIII-ом республиканском семинаре "Проблемы стандартизации и высшая школа" (Самара, 1991),

Всесоюзной конференции "Высокопроизводительное оборудование и прогрессивные методы технологии в машиностроении" (Москва, 1991),

научно-технической конференции школы-семинара "Прогрессивные технологии в машиностроении" (Одесса, 1995),

заседаниях кафедры "Технологии машиностроения и приборостроения" ВФ ИжГТУ (Воткинск, 1996, 1997),

заседании кафедры "Производство машин и механизмов" ИжГТУ (Ижевск, 1997).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и приложений. Содержит 177 страниц машинописного текста, 10 таблиц, 35 рисунков. Список

температуры включает 138 источников, приложения на 46 страницах.

Содержание работы.

Введение. Исследования показали, что повышение

технического уровня отечественных машин

связано с использованием перспективных конструктивных и режущих

материалов, а также применением прогрессивных технологий обработки

деталей. Актуальной задачей на сегодняшний день является повышение

эффективности обработки деталей из труднообрабатываемых материалов.

К таким материалам относятся титановые сплавы, твердость которых

повышается в процессе обработки. В работе рассмотрено одно из перспективных направлений

получения гарантированного качества обработки — шлифование алмазным

кругом с внутренним подводом СОТС в зону резания.

Для внедрения разработанного инструмента в производство необходимы

дополнительные теоретические и экспериментальные исследования

процесса плоского алмазного шлифования, основной задачей

которых является разработка научно обоснованных технологических

рекомендаций по алмазному шлифованию титановых сплавов.

В первой главе даются характеристики титановых сплавов, анализ

особенностей их обработки и направления повышения эффективности

финишной обработки.

На сегодняшний день создано более 30 различных марок титановых

сплавов. Большое разнообразие свойств титановых сплавов объясняется тем,

что титан обладает полиморфизмом и существует в двух модификациях:

при температурах ниже $882,5^{\circ}\text{C}$ — низкотемпературный α -титан,

при температурах выше $882,5^{\circ}\text{C}$ — β -титан. Путем легирования

титана различными элементами с изменением их процентного

содержания можно получить титановые сплавы со стабильной α -структурой

или $(\alpha+\beta)$ -структурой. Титановые сплавы отличаются от других

конструкционных материалов высокой удельной прочностью, теплоустойчивостью

и коррозионной стойкостью при температурах до 500°C .

на воздухе, в морской воде, кислотах и щелочах.

Для исследования наиболее интересны сплавы с промежуточным структурным состоянием. Сдерживающим фактором широкого промышленного внедрения этих материалов являются их чувствительность к высоким температурам, а отсюда невысокие показатели обрабатываемости резанием и специфика обработки. Эти особенности оказывают значительное влияние на процессы окончательной обработки, где формируется поверхностный слой деталей, с которым они поступают в эксплуатацию. Производственный опыт показывает, что после операций шлифования, часто сопровождающихся высокими температурами, отмечается большой процент брака - деталей с дефектами в виде прижогов и микротрещин, недопустимых по эксплуатационным требованиям.

Причинами брака являются не только невыполнение требований конструкторской документации в процессе обработки, но и недостаточность требований, заложенных в самой конструкторской документации. В существующих технологиях при окончательной обработке деталей не учитывают такие важные показатели качества поверхности как величины и знаки остаточных напряжений и упрочнение поверхностного слоя, сохранение первоначальной структуры обрабатываемого материала, которые непосредственно связаны с эксплуатационными характеристиками деталей. Для снижения вероятности появления брака продукции в производстве используются устаревшие технологии с операциями шлифования на заниженных режимах резания, которыми стремятся снизить теплонапряженность шлифования.

Анализ литературных данных показал, что оптимизация режимов резания и применение алмазных инструментов способствует повышению технологических показателей процесса шлифования, что доказано в работах Ю. М. Ермакова, В. В. Крымова, Г. И. Саятина, Л. А. Панькова, В. А. Носенко, П. И. Ящерицына. Применение кругов из сверхтвердых ма-

териалов с высокой и стабильной режущей способностью, а также их малый износ позволяют не только автоматизировать процесс обработки, но и значительно повысить надежность и долговечность изделий путем повышения качества поверхностного слоя.

Эффективным направлением повышения качества обработки является активная работа смазывающе-охлаждающих технологических средств - СОТС, влияние которых может значительно изменить ряд показателей процесса шлифования, таких как температуры и силы резания, износ инструмента, показатели качества обработки.

Поэтому при разработке технологических рекомендаций по шлифованию титановых сплавов необходимо повысить эффективность действия СОТС, что можно сделать двумя способами: рациональным составом и выбором оптимального способа подачи СОТС в зону резания. Наиболее перспективным способом подачи СОТС для обработки титановых сплавов, чувствительных к высоким температурам, является непосредственный подвод технологической жидкости в зону резания, он обеспечивает эффективную очистку режущей поверхности круга и снижает теплонапряженность резания.

Используемые в производстве известные способы непосредственного подвода СОТС, такие как высоконапорное струйное охлаждение и применение высокопористого инструмента, при шлифовании титановых сплавов малоэффективны. Поэтому для внедрения в производство способа шлифования с гарантированным охлаждением зоны резания нужны дополнительные исследования.

Таким образом, в результате анализа многих исследовательских работ и производственного опыта в области обработки титановых сплавов были сформулированы цель и задачи исследования в данной работе.

Вторая глава рассматривает влияние способа подвода техноло-

гической жидкости в зону резания на температуру режущего зерна.

Теоретическими исследованиями обосновано снижение теплонапряженности процесса резания в случае непосредственного подвода СОТС в зону резания.

Оценка влияния способа подачи СОТС проведена на основании уравнения, предложенного в работе Ф.Ю.Свитковского. Уравнение (1) описывает распределение тепла между зерном и поверхностью детали при наличии теплообмена

$$\begin{aligned}
 T(x, t) = & \frac{q \sqrt{a_2}}{\lambda_2} \frac{1}{1+k} \left[\frac{\exp\left(-\sqrt{\frac{\beta}{a_2}} x\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{a_2 t}} - \sqrt{\beta t}\right)}{2\left(\alpha/\lambda_2 \sqrt{a_2} + \sqrt{\beta}\right)} + \right. \\
 & \left. + \frac{\exp\left(\sqrt{\frac{\beta}{a_2}} x\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{a_2 t}} + \sqrt{\beta t}\right)}{2\left(\frac{\alpha^2}{\lambda_2} \sqrt{a_2} - \sqrt{\beta}\right)} - \right. \\
 & \left. - \frac{\alpha}{\lambda_2} \sqrt{a} \frac{\exp\left\{\frac{\alpha}{\lambda_2} x + \left(\frac{\alpha^2}{\lambda_2^2} a_2 - \beta\right) t\right\}}{\frac{\alpha^2}{\lambda_2^2} a_2 - \beta} \times \right. \\
 & \left. \times \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{a_2 t}} + \frac{\alpha}{\lambda_2} - \sqrt{a_2 t}\right) \right] \quad (1)
 \end{aligned}$$

где $\beta = \frac{\alpha_1}{c\rho h}$

α_1 - коэффициент теплообмена боковой поверхности зерна;

c - теплоемкость;

ρ - плотность;

h - отношение площади сечения к периметру зерна;

α - коэффициент теплообмена торца зерна;

k - коэффициент теплоотвода в металл.

Теоретические исследования показали, что непосредственный подвод СОТС в зону резания по сравнению с поливом снижает темпе-

ратуру в зоне резания на 30-40% и повышает стойкость алмазных зерен на 20-40%. Полученные результаты позволили обосновать конструкции алмазных кругов с внутренним подводом СОТС в зону резания.

Конструктивными особенностями кругов являются: внутренняя полость, в которой находится технологическая жидкость, отверстия, через которые в зону резания под давлением подается СОТС, лопатки, расположенные во внутренней полости для повышения давления жидкости на выходе в зону резания.

Экспериментальными исследованиями работоспособности кругов с внутренним подводом СОТС было установлено, что отверстия на рабочей поверхности инструмента должны располагаться равномерно, а их количество не должно превышать 30% от общей площади режущей поверхности. Наличие лопаток увеличивает давление жидкости на выходе из полости круга в зону резания на 50...100%, что позволяет уменьшить диаметр отверстий, не изменяя расход СОТС, тем самым повысить эффективность действия технологической жидкости.

Исследование показателей работоспособности подтвердили положение, высказанное в ряде работ ученых В.Г.Гусева, В.И.Пилинского, П.И.Ящерицына, что при внутреннем подводе СОТС в зоне резания образуется гидродинамический клин с избыточным давлением, который облегчает сьем металла, экранирует обрабатываемую поверхность от соприкосновений со связкой круга, способствует снижению теплонапряженности резания.

Механизм образования гидроклина сходен с работой подшипника скольжения, поэтому для описания гидродинамических явлений можно применить уравнения гидродинамики. Тогда гидродинамическая сила равна

$$P_y = \frac{3\mu V_{кр} R}{h_0} \nu B K_B \quad (2)$$

где B - ширина круга,

K_B - коэффициент распределения давления по ширине шлифовального круга, определяется экспериментально, $K_B = 0.9 \dots 1.0$.

u - безразмерный коэффициент нагруженности круга,

$h_0 = 0.10 - 0.15 d_0$ - расстояние от связки круга до обрабатываемой поверхности.

Исследованиями выявлено, что влияние гидродинамической силы на величину упругих деформаций не превышает 10%. С увеличением припуска на обработку происходит снижение влияния силы P_y до 5%.

Следовательно, жесткость технологической системы достаточно большая, чтобы гидродинамическая сила не оказывала существенного влияния на точность обработки. Учитывать гидродинамическую силу необходимо только для определения точности обработки при тонком шлифовании и для особо ответственных деталей.

Таким образом, теоретически доказано, что при непосредственном подводе СОТС в зону резания будет происходить снижение теплонапряженности процесса резания. Наиболее эффективно осуществляется схема непосредственного подвода технологической жидкости при использовании специального круга с внутренним подводом СОТС.

Установлено, что на работоспособность круга с внутренним подводом СОТС оказывает влияние количество отверстий на режущей поверхности и наличие лопаток внутри инструмента, а также характеристики алмазосносного слоя.

Результаты исследований - в виде рекомендаций по конструктивным особенностям проектируемых инструментов.

В третьей главе приводится теплофизический анализ процесса резания по схеме, наиболее часто встречающейся в производстве - плоского шлифования деталей кругами типа ПП. В качестве инструмента рассмотрен алмазный круг с внутренним подводом СОТС.

Состояние поверхностного слоя обрабатываемой детали определяется пространственно-временным распределением температуры в изучаемой детали, выраженным функцией $T = f(x, y, z, t)$. Для определения температуры точек на обрабатываемой поверхности использовано решение, предложенное в работе В. А. Сипайлова.

Для нахождения температуры в зоне резания при шлифовании с непосредственным подводом СОТС в качестве граничных условий выбраны смешанные граничные условия.

Решением уравнения теплопроводности для рассматриваемой схемы шлифования является выражение

$$T(x, y) = \frac{q \cdot dx_u}{2\pi\lambda} \int_0^1 \exp \left[\frac{v(x-x_u)}{2a} \right] K_0 \left[\frac{v \sqrt{(x-x_u)^2 + y^2}}{2a} \right] - \frac{\alpha}{\lambda} \frac{q}{2\pi\lambda} \int_0^1 \exp \left[\frac{v(x-x_u)}{2a} + \frac{\alpha}{\lambda} y \right] \int_y^\infty \exp \left(-\frac{\alpha}{\lambda} y \right) K_0 \times \quad (3)$$

$$\times \left[\frac{v \sqrt{(x-x_u)^2 + y^2}}{2a} \right] dy dx_u,$$

которое можно представить в безразмерном виде как

$$T(X, Y) = \frac{2qa}{\pi\lambda v} \int_{X-H}^{X+H} \exp(-\psi) K_0 \sqrt{Y^2 + \psi^2} \times \int_Y^\infty \exp(-\beta Y) K_0 [\sqrt{\psi^2 + Y^2}] dY \quad (4)$$

$$\times \left\{ 1 - \beta \exp(\beta Y) \frac{1}{K_0 [\sqrt{\psi^2 + Y^2}]} \right\} d\psi,$$

где в безразмерном виде выражены и координаты уравнения

$$\frac{v(x-x_u)}{2a} = \psi, \quad \frac{vx}{2a} = X, \quad \frac{vy}{2a} = Y, \quad \frac{vh}{2a} = H.$$

В формуле (4) выражение перед фигурными скобками описывает условия образования температуры на обрабатываемой поверхности без теплообмена с окружающей средой, выражение в фигурных скобках учитывает теплообмен.

Если функцию Бесселя выразить с погрешностью, не выходящей за пределы 5%, как

$$N_0 [u] = \left[\frac{\pi}{2u} \right]^m \exp [- u], \quad (5)$$

где $m = 0.342 + 0.053u$ при $0 < u < 3$ и $m = 0.5$ при $u > 3$, а также если предположить, что $u = Re/2 (\psi - \psi_u)$, то максимальное значение температуры можно найти, используя выражение

$$T_{max} = \frac{\pi^m}{1 - m} \left[\frac{v \cdot h}{a} \right]^m \quad (6)$$

Выражение в фигурных скобках в формуле (4) определяет влияние теплообмена, где комплекс $\beta = \frac{2\alpha a}{\lambda v}$, определяющий теплообмен, зависит от коэффициента теплообмена α и скорости движения источника тепла v .

Экспериментами установлено, что наибольшее снижение температуры обеспечивает вода и водные растворы, так как для этих сред коэффициент теплообмена α больше по сравнению с масляными средами и воздухом. Наименьшее снижение температуры происходит при охлаждении воздухом.

Расчеты показали, что температуры, возникающие в процессе шлифования кругом с внутренним подводом СОТС, не превышают допустимые для титановых сплавов значения, при которых не появляются тепловые дефекты и остается неизменной структура поверхности детали.

Полученные результаты теоретических исследований позволяют установить зависимости основных элементов режущей части круга с внутренним подводом СОТС от температур в зоне резания:

длина режущего элемента или расстояния между отверстиями для СОТС находим по формуле $L_{рез} = V_{кр} \cdot \tau_1 \cdot k$ (7)

где τ_1 - время работы режущего элемента, определяемое из выраже-

ния

$$\tau_1 = \frac{T_{доп}^2 \lambda^2 \pi}{q^2 a}, \text{ с} \quad (8)$$

Достоверность полученных расчетом значений температур и установление теплового режима работы спроектированного инструмента подтверждена экспериментальными исследованиями, результаты которых фиксировались с помощью информационно-измерительной системы. В качестве датчиков для измерения температур использовались полупроводниковые термопары.

Сравнение экспериментальных данных и рассчитанных значений температур показало, что расхождение составляет не более 15-20%. Применение кругов с внутренним подводом СОТС позволяет снизить температуру в зоне резания в 2...2.5 раза за счет теплообмена с охлаждающей жидкостью, а также за счет снижения плотности теплового потока.

Таким образом, теплофизический анализ процесса шлифования с непосредственным подводом СОТС в зону резания позволяет спрогнозировать распределение температур на поверхности детали. Теплофизические расчеты применены при проектировании инструмента с внутренним подводом СОТС в методике автоматизированного выбора основных элементов режущей части круга с внутренним подводом СОТС, разработанной в среде пакета Clirreg.

В четвертой главе проведены сравнительные исследования показателей работоспособности круга с внутренним подводом СОТС и стандартного инструмента: по силам резания и износостойкости алмазного слоя инструмента.

В исследованиях сил резания использовано расчетно-экспериментальное моделирование с применением планируемых экспериментов по методу ПФЭ.

Для измерения сил резания, применялись датчики ЛХ-143, ос-

новым элементом которых являются тензорезисторы. Регистрирование сил производилось с помощью информационно-измерительной системы, в состав которой входит специальный динамометр, изготовленный на кафедре ТМ и П Воткинского филиала ИжГТУ.

Статистическая обработка экспериментальных данных произведена на ПЭВМ с использованием программы "Регрессия", разработанной с среде пакета PASCAL. Результаты представлены в виде степенных зависимостей:

$$P_y = C_{p_y} \cdot t^{x_{py}} \cdot S_{np}^{z_{py}} \cdot V_{кр}^{y_{py}}, \quad (9)$$

$$P_z = C_{p_z} \cdot t^{x_{pz}} \cdot S_{np}^{z_{pz}} \cdot V_{кр}^{y_{pz}}, \quad (10)$$

Значения коэффициентов и показателей степеней функции для титановых сплавов BT6 и BT14. сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов и показателей степеней

Обрабатыв. материал	Cp		x		y		z	
	P _y	P _z	P _y	P _z	P _y	P _z	P _y	P _z
	для стандартного круга							
BT6	2608	1380	0.48	0.37	-0.36	-0.43	0.36	0.52
BT14	2955	1429	0.48	0.37	-0.36	-0.43	0.36	0.52
	для круга с внутренним подводом СОТС							
BT6	2373	1466	0.42	0.72	-0.39	-0.38	0.46	0.42
BT14	864	991	0.42	0.72	-0.39	-0.38	0.46	0.42

Результаты экспериментов показали, что на величину сил резания существенное влияние оказывает зернистость кругов. Для круга с внутренним подводом СОТС минимальные силы резания соответствуют зернистости круга 160/125.

При шлифовании титановых сплавов независимо от характеристик инструментов и режимов резания величины составляющих силы P_z и P_y для круга с внутренним подводом СОТС меньше, чем соответствующие величины для стандартных инструментов на 40-60%.

Уменьшение сил резания объясняется тем, что технологическая жидкость, находящаяся в зоне резания, снижает силы трения, а также СОТС препятствует засаливанию режущей поверхности круга, и процесс микрорезания происходит более острыми кромками алмазных зерен.

В ходе экспериментов для кругов с внутренним подводом СОТС была выявлена зависимость сил резания от количества отверстий на режущей поверхности инструмента. Меньшие силы соответствуют работе кругами с 22...25% отверстий от общей площади.

Оценка работоспособности шлифовального круга произведена также по удельному расходу алмазоносного слоя. Результаты этих исследований сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Удельный расход алмазоносного слоя различных кругов

Обрабатыв. материал	Круг 160 АС6 — М1 100% 125	Режимы резания			q мг/г
		V _{кр} м/с	S _{пр} м/с	t мм	
ВТ6	стандартный	25	0.016	0.02	9.2
		32	0.016	0.02	10.7
	с подводом СОТС	25	0.016	0.02	2.2
		32	0.016	0.02	1.8
ВТ14	стандартный	25	0.016	0.02	10.5
		32	0.016	0.02	14.0
	с подводом СОТС	25	0.016	0.02	2.7
		32	0.016	0.02	1.6

Как показали эксперименты, удельный расход алмазоносного слоя стандартных кругов в 4...7 раз превышает износ кругов с подводом СОТС, причем у последних около 80% алмазных зерен имели

нормальную площадку износа, а примерно 10% остались острыми, а зерна стандартных кругов имели практически 100% износ. Такое большое отличие значений удельного расхода алмазоносного слоя объясняется различием механизмов износа.

Основным видом износа круга с внутренним подводом СОТС является механический износ. При активной работе технологической жидкости величины износа невелики, и круг сохраняет достаточно высокую режущую способность. Стандартные же круги при шлифовании титановых сплавов подвергаются адгезионно-механическому износу, что можно подтвердить большими площадками износа на режущих зернах:

Таким образом, для обработки титановых сплавов рекомендуются алмазные круги с внутренним подводом СОТС, имеющие характеристики: абразивный материал - АС6, зернистость - 160/125...250/200, связка - М1, концентрация - 100%. Количество отверстий на режущей поверхности - 20...25% от общей площади.

Пятая глава посвящена изучению вопросов формирования поверхностного слоя деталей, изготовленных из титановых сплавов, сделана оценка показателей качества поверхности после шлифования стандартными кругами и инструментами с внутренним подводом СОТС.

Сравнительные исследования проводились по шероховатости обработанной поверхности, микротвердости, остаточным напряжениям, структуре поверхностного слоя, а также оценивалась усталостная прочность деталей.

Одним из основных показателей качества обработки является шероховатость поверхности. Определение значений Ra производилось на приборе Профилограф-профилометр мод.201. Выявлено, что после шлифования стандартными кругами и инструментами с подводом СОТС поверхности деталей получены с требуемой шероховатостью. Однако было выяснено, что при длительной обработке стандартными кругами,

сопровождающейся высокими температурами, в зоне резания происходит интенсивное адгезионное взаимодействие контактирующих поверхностей, которое приводит к засаливанию инструментов, а на поверхностях деталей образуются задиры, резко увеличивающие значения шероховатости.

Активная работа технологической жидкости при шлифовании кругом с внутренним подводом СОТС, в частности охлаждающее и моющее ее действие, позволяет режущим зернам инструмента продолжительное время оставаться острыми, тогда шероховатость поверхности формируется под действием сил резания и геометрии режущей части алмазного круга.

Значительной проблемой при обработке двухфазных титановых сплавов стандартными инструментами является изменение структурного состояния поверхностного слоя. Сравнительная оценка структурного состояния поверхностного слоя после шлифования, производилась с помощью микроскопа МИМ-8М. Экспериментами установлено, что при шлифовании стандартными кругами формирование поверхностного слоя происходит под действием теплового фактора. Под действием высоких температур в поверхностном слое вместо исходной ($\alpha+\beta$)-структуры формируется альфированный слой повышенной твердости и хрупкости, который может быть причиной возникновения микротрещин.

Использование кругов с внутренним подводом СОТС гарантированно снижает температуру обработки до 200-350 °С. При таких температурах не происходит структурных превращений. Поверхности деталей сформированы при основном влиянии силового фактора, что позволяет улучшить эксплуатационные характеристики деталей.

В работе были проведены экспериментальные исследования остаточных напряжений на установке УРС-50И и оценка микротвердости.

произведенная с помощью прибора ПМТ-3 методом "косых срезов". Исследования показали, что при стандартной обработке на формированием этих показателей качества основное влияние оказывает также тепловой фактор. В результате воздействия высоких температур в поверхностном слое формируются растягивающие остаточные напряжения, которые при наличии концентраторов напряжений способствуют формированию на обработанных поверхностях микротрещин. Высокая микротвердость поверхности после обработки стандартным инструментом также является результатом воздействия высоких температур, под действием которых в поверхности детали происходит образование альфированного слоя, имеющего повышенную твердость и хрупкость по сравнению с исходным состоянием обрабатываемой поверхности детали.

На формирование поверхности при шлифовании алмазным кругом с внутренним подводом СОТС основное влияние оказывает силовой фактор. Полученные поверхности характеризуются сжимающими остаточными напряжениями, при которых повышается усталостная прочность деталей, а механическое упрочнение увеличивает износостойкость обработанных поверхностей.

Таким образом, проведенные исследования влияния различных конструкций кругов на показатели качества обработки определили, что после шлифования кругом с внутренним подводом СОТС снижается воздействие теплового фактора, и полученные обработанные детали характеризуются лучшими эксплуатационными показателями.

В результате проведенных исследований показателей качества при обработке кругом с внутренним подводом СОТС предложена методика выбора рациональных режимов шлифования, реализованная в среде PASCAL, которая учитывает соблюдение условий обработки: требуемые показатели шероховатости поверхности, температуры обработки.

определяются не превышающие допустимых для титановых сплавов значений и максимальную для данных условий производительность шлифования

$$\left. \begin{aligned} Ra_T &= Ra_{\text{треб}} \\ T &< T_{\text{доп}} \\ \Pi &= \Pi_{\text{max}} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} Ra_{\text{треб}} &= \frac{X\varphi}{3} \left[\frac{W}{V_{\text{кр}}} \right]^{1/3} \\ T &= \frac{q \sqrt{a}}{\lambda \sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{1}{S_{\text{пр}}}} \\ \Pi_{\text{max}} &= S_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

После решения системы уравнений для круга с выбранной зернистостью рекомендуются режимы резания, соответствующие требуемым показателям качества $[V_{\text{кр}}, S_{\text{пр}}, t_{\text{пр}}]$. В таблице 3 представлены несколько вариантов рекомендуемых режимов резания.

Таблица 3.

Рекомендуемые режимы резания при обработке алмазным кругом с внутренним подводом технологической жидкости

Материал детали, варианты технических требований на детали	Рекомендуемые режимы резания и зернистость алмазных кругов
BT6 Rz = 6.3 мкм Отсутствие прижогов	$V_{\text{кр}} = 25 \text{ м/с}$ $S_{\text{пр}} = 0.016 \text{ м/с}$ $t = 0.02 \text{ мм}$ Зернистость 160/125
BT14 Rz = 3.2 мкм Отсутствие структурных изменений	$V_{\text{кр}} = 25 \text{ м/с}$ $S_{\text{пр}} = 0.016 \text{ м/с}$ $t = 0.02 \text{ мм}$ Зернистость 125/100
BT6 Rz = 1.6 мкм Отсутствие прижогов	$V_{\text{кр}} = 32 \text{ м/с}$ $S_{\text{пр}} = 0.008 \text{ м/с}$ $t = 0.01 \text{ мм}$ Зернистость 100/80

Основные выводы:

1. Одним из наиболее перспективных направлений повышения эф-

эффективности обработки является алмазное шлифование с непосредственным подводом СОТС в зону резания. Схема плоского шлифования периферией круга расширяет область применения прогрессивного метода обработки.

2. Теоретические исследования по оценке влияния способов подвода СОТС в зону резания на температуру режущего зерна показали, что подвод технологической жидкости непосредственно в зону резания через отверстия по сравнению с подачей СОТС поливом снижает температуру обработки на 30 - 40%, что повышает стойкости алмазных зерен на 20 - 40%.

3. Полученные теоретические результаты позволили обосновать разработку конструкций алмазных кругов с внутренним подводом СОТС в зону резания и изготовить опытные образцы инструментов.

4. Установлено, что при шлифовании кругами с внутренним подводом СОТС в зоне резания возникает гидродинамический клин, который облегчает сьем металла, способствует охлаждению зоны резания. Влияние гидродинамической силы на точность обработки незначительно.

5. Теплофизические исследования процесса шлифования показали, что использование круга с внутренним подводом СОТС позволяет снизить температуры в зоне резания в 2 - 3 раза по сравнению со стандартной обработкой. На основании теплофизических исследований шлифования кругами с внутренним подводом СОТС получены тепловые зависимости.

6. Экспериментами установлено, что непосредственный подвод СОТС значительно повышает работоспособность алмазных кругов при шлифовании титановых сплавов: у разработанных кругов после шлифования до 80 - 90% зерен сохранили свою режущую способность, удельный расход алмазоносного слоя снижен в 4, - 7 раз по сравне-

нию со стандартными инструментами при тех же условиях обработки.

7. Проведение экспериментов по исследованию сил резания с использованием планирования по методу ПФЭ позволило получить закономерности изменения сил резания от режимов шлифования. Установлено, что обработка специальными кругами по сравнению со стандартными характеризуется меньшими на 40-60% силами резания, что повышает точность и качество обработанных поверхностей.

8. При оценке показателей качества обработки было выявлено, что формирование поверхностного слоя деталей в процессе шлифования кругами с внутренним подводом СОТС происходит под действием силового фактора. Установлено, поверхностный слой обрабатываемых деталей характеризуется остаточными напряжениями сжатия и наклепом поверхности, величины которых определяется режимами обработки.

Результаты исследований влияния условий обработки на показатели качества обработанной поверхности показали, что шлифование кругами с внутренним подводом СОТС повышает усталостную прочность деталей за счет формирования благоприятного микрорельефа поверхности, сжимающих остаточных напряжений и механического упрочнения.

9. Результаты комплексного исследования показателей качества использованы при разработке технологических рекомендаций по алмазному шлифованию титановых сплавов, определению рациональных режимов обработки и внедрены в производство на ГПО "Воткинский завод".

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Глубинно-скоростное шлифование кругами с отверстиями. Чумакова Е.В., Пузырева Т.Ю., Юсупов Г.Х. // II конференция молодых ученых: Тез. докл. - Ижевск: ФТИУрО АН СССР, 1990. - с.64.
2. Использование специального алмазного инструмента для ско-

ростного шлифования. Юсупов Г.Х., Чумакова Е.В., Пузырева Т.Ю. // Школа-семинар "Прогрессивные технологии в машиностроении": Тез. докл. - Одесса: РДЭНТП, 1991. - с. 73.

3. К вопросу о технологии глубинного шлифования. Пузырева Т.Ю., Пустовалов С.А., Чумакова Е.В. // Всесоюзная конференция "Высокопроизводительное оборудование и прогрессивные технологии в машиностроении": Тез. докл. - М.: НТЦ "Информтехника", 1992. - с. 22.

4. Кузнецов А.Н., Чумакова Е.В. Скоростное электро-алмазное шлифование на основе вольфрама" // Молодежная научно-техническая конференция "Гагаринские чтения": Тез. докл. - Москва, 1995. - с. 26.

5. Расширение технологических возможностей скоростного шлифования. Чумакова Е.В., Пузырева Т.Ю. // Научно-техническая конференция "Разработка и внедрение САПР и АСТПП в машиностроении": Тез. докл. - Ижевск, 1990. - с. 193-194.

6. Хвилев О.Б., Пустовалов А.С., Чумакова Е.В. Оптимизация конструкции шлифовального круга с подачей СОТС через перфорированные отверстия на рабочей зоне. // II конференция молодых ученых: Тез. докл. - Ижевск, 1990. - с. 37.

7. Чумакова Е.В., Юсупов Г.Х. Скоростное шлифование титановых сплавов. // Международная конференция "Механика машиностроения": Тез. докл. - г.Н.Челны, 1995. - с. 46.

8. Чумакова Е.В. Расширение технологических возможностей шлифования. //Школа-семинар "Прогрессивные технологии в машиностроении": Тез. докл. - Одесса, 1995. - с. 25.

9. Чумакова Е.В., Пузырева Т.Ю., Юсупов Г.Х. "Использование специального алмазного инструмента для скоростного шлифования" // Школа-семинар "Прогрессивные технологии в машиностроении": Тез.

докл. - Одесса, 1991. - с. 31.

10. Чумакова Е. В., Юсупов Г. Х. Вопросы методики конструирования специального алмазного круга для скоростного шлифования титановых сплавов. // Вопросы механики и технологии производства машин и механизмов. Сборник научных трудов. - Ижевск, 1997. - с. 91.

11. Юсупов Г. Х., Чумакова Е. В., Хвилев О. Б. "Специальный инструмент для обработки хромистых сталей" // Всесоюзная конференция "Высокопроизводительное оборудование и прогрессивные технологии в машиностроении": Тез. докл. - Москва, 1991. - с. 36.



Подписано к печати 24.06.98 г. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 1,0.
Тираж 100 экз. Заказ №625

Печатный комплекс торгового дома «Воткинский завод»
ГПО «Воткинский завод»
427410, г. Воткинский, ул. Кирова, 2.