

На правах рукописи

БАРАЦ Фридрих Яковлевич

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
КРУГЛЫХ РЕЗЦОВ ПУТЕМ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ
ОБРАБОТКИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ АЛМАЗНЫМ
ВЫГЛАЖИВАНИЕМ**

Специальность:

05.03.01 – Технологии и оборудование механической
и физико-технической обработки

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Саратов 2006

Работа выполнена
в ГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет»

- Научные руководители
- доктор технических наук, профессор
Поволоцкий Ефим Гедеминovich
 - доктор технических наук, профессор
Кочетков Андрей Викторович
- Официальные оппоненты
- доктор технических наук, профессор
Загородских Борис Павлович
 - кандидат технических наук, доцент
Герасимов Анатолий Александрович
- Ведущая организация:
- Открытое акционерное общество
«НИТИ-Тесар», г. Саратов

Защита состоится 28 июня 2006 г. в 10 час. на заседании диссертационного совета Д 212.242.02 при ГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет» по адресу: 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, д.77.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет».

Автореферат разослан 26 мая 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

 А.А.Игнатьев

2006 А
15977

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы определяется необходимостью совершенствования теории и практики технологии отделочно-упрочняющей обработки круглых резцов, получивших широкое распространение в металлообрабатывающей промышленности. Алмазное выглаживание как один из методов обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД) позволяет на закаленных высокопрочных инструментальных сталях значительно снизить шероховатость поверхности, упрочнить поверхностный слой и образовать в теле благоприятное распределение сжимающих остаточных напряжений.

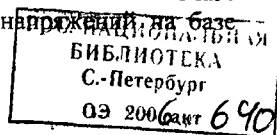
В работах многих отечественных и зарубежных исследователей отмечается, что напряжения, оставшиеся в поверхностных слоях после поверхностного пластического деформирования, помимо других факторов, тесно связаны с температурным полем, возникающим в очаге деформации и в прилегающих к нему областях. Неблагоприятные условия теплообмена в приконтактной зоне и значительные контактные температуры являются главной причиной спада остаточных сжимающих напряжений у самой поверхности обкатанных или выглаженных изделий. Это относится и к поверхностному пластическому деформированию методом выглаживания алмазными инструментами. В зависимости от физико-механических свойств обрабатываемого материала и режимов обработки глубина упрочненного слоя может измениться в широких пределах – от 0,2 до 25 мм, а твердость поверхностного слоя может быть увеличена на 40-50% по сравнению с исходной.

Среди работ, относящихся к вопросу изучения тепловых явлений, выделяется исследование Д.Д. Папшева применительно к технологии обкатки изделий шариком. Задача решалась методом источников с целью определения общего поля в изделии, размерами и формой которого можно было пренебречь. Однако для условий отделочно-упрочняющей обработки пренебрежение формой и размерами изделия и инструмента приводит к значительным погрешностям. Для расчета местного поля, определяющего качество упрочнения и температурную устойчивость инструмента, приходится решать контактную задачу теплопроводности.

Цель работы: повышение качества и эксплуатационных свойств (износостойкости) круглых резцов путем совершенствования технологии и управления тепловым процессом отделочно-упрочняющей обработки алмазным выглаживанием рабочих поверхностей резцов на основе оптимизации решения задачи теплопроводности с учетом условий протекания процесса теплообмена и ограниченности взаимодействующих тел

Научная новизна:

1. Теоретическое обоснование совершенствования технологии отделочно-упрочняющей обработки рабочих поверхностей алмазным выглаживанием на основе объяснения влияния тепло-силовой обстановки в очаге деформации на характер формирования остаточных напряжений на базе современных достижений теории теплопроводности.



2. Математическая модель тепловых потоков, возникающих в очаге деформации через контактирующие поверхности, позволяющая учитывать влияние размеров контактной поверхности между инструментом и деталью на формирование фазового состава упрочненной поверхности и на основные характеристики качества отделочно-упрочняющей обработки.

3. Математическая модель режимов алмазного выглаживания, учитывающая технические и технологические ограничения, которые позволяют получить повышенную пластичность в области контактирования инструмента, на основе расчетных методов анализа теплофизики отделочно-упрочняющей обработки алмазным выглаживанием.

Практическая ценность и реализация результатов работы. На базе теоретических выводов, получивших экспериментальное подтверждение, достигнут переход к эффективному управлению теплообменом при обработке, определена область наиболее рациональных режимов поверхностного пластического деформирования. Наиболее важные практические результаты получены для отделочно-упрочняющей обработки наружных фасонных поверхностей, для которых достигалось активное охлаждение очага деформации и контактных поверхностей путем интенсивного теплоотвода в изделие и инструмент, а также обеспечивалось наиболее рациональное использование рабочей поверхности инструмента. Результаты исследования явились основой для создания инструментов и способов ведения отделочно-упрочняющей обработки, получивших промышленную апробацию. Внедрение результатов исследования осуществлено на ЗАО «Тролза», ЗАО «Бош» (г. Энгельс) при изготовлении круглых фасонных резцов.

Методы и средства исследований. В теоретических исследованиях использовались методы технологии машиностроения, математической физики, теплофизики, теории тепломассообмена. В экспериментальных исследованиях использовались методы метрологии, автоматизации научных исследований, методы разработки и реализации расчетных процедур с помощью специального программного обеспечения и средств Excel.

Апробация. Основные научные положения и результаты работы докладывались на Международной научно-технической конференции «Комплексное обеспечение точности автоматизированных производств» (Пенза, 1995), Международной научно-технической конференции «100 лет российскому автомобилю. Промышленность и высшая школа» (Москва, МАМИ, 1996), 5-й Международной научно-технической конференции «Точность и надежность технологических и транспортных систем» (Пенза, 1999), Всероссийской научно-технической конференции «Технический вуз – наука, образование и производство в регионе» (Тольятти, 2001), Международной конференции «Проблемы и перспективы прецизионной механики и управления в машиностроении» (Саратов, 2002), 7-й Международной научно-технической конференции «Динамика технологических систем» (Саратов, 2004), заседаниях кафедр «Технология машиностроения» СГТУ и «Материаловедение» Энгельсского технологического института СГТУ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ, в т.ч. монография, получено 2 патента Российской Федерации.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 110 наименований и приложения. Объем диссертации составляет 145 страниц, в том числе 57 рисунков и 5 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и научная новизна, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приводится обзор работ в области процессов отделочно-упрочняющей обработки методами поверхностного пластического деформирования и его особенности. Метод ППД относится к простым кинематически, высокоэффективным и экономичным способам упрочняюще-калибрующей и отделочно-упрочняющей обработки изделий, с помощью которого удастся весьма существенно повысить сопротивление разрушению деталей, работающих в условиях переменных нагрузок или подвергающихся истиранию.

Изучению процессов ППД посвящены многие работы отечественных и зарубежных исследователей. Хорошо известны работы И.В. Кудрявцева, Д.Д. Папшева, Ю.Г. Шнейдера, М.А. Балтер, А.В. Гурьева, А.П. Бабичева, Д.Г. Евсеева, Б.А. Кравченко, Э.В. Рыжова, В.М. Смелянского, А.Г. Сулова, В.М. Торбило, Я.И. Бараца, И.А. Масляковой, Н.Д. Папшевой, Л.А. Хворостухина и других. Их исследованиями подтверждено, что исключительные эксплуатационные свойства изделий достигаются высоким качеством поверхности, повышенной опорной способностью шероховатости поверхности за счет округлой формы микронеровностей, упрочнением поверхностного слоя и образованием в нем благоприятных остаточных напряжений.

При отделочно-упрочняющей обработке происходит образование новой поверхности с шероховатостью, зависящей от основных параметров процесса. Микрогеометрия при обкатке определяется характером деформации исходных неровностей. Исследования, выполненные Д.Д. Папшевым, Н.М. Михиным, показывают, что пренебрежение величиной упругой деформации в процессе обкатки может привести к значительным погрешностям. Особенно большие погрешности возникают в условиях обработки, при которых происходит неполное сминание исходных микронеровностей. Высота микронеровностей с учетом их упругой деформации (по Д.Д.Папшеву), может быть определена по формуле

$$R_1 = \left[\frac{S^2}{R_{ш}} - \frac{(K-1)^2}{K} - \frac{S^2}{16R_{ш}} \right],$$

где S – подача; $R_{ш}$ – радиус шарика; K – коэффициент, характеризующий увеличение радиуса впадины в результате упругого восстановления.

Однако представление о микрорельефе как о следе движения рабочего инструмента (шарика или ролика) при обкатке является неточным вследствие искажений, вызываемых пластическим течением металла в приконтактной зоне. Пластическое течение происходит в направлении подачи с образованием волны, перемещающейся вместе с инструментом, и в обратном направлении, что приводит к искажению образованного ранее соседнего микропрофиля. Показаны пути совершенствования технологии выглаживания, связанные с оптимизацией технологических режимов и изучения основных влияющих факторов и параметров различной природы. Сделан вывод о доминирующем влиянии и недостаточной изученности теплофизики процесса поверхностного пластического деформирования. Определены в качестве первоначальных задачи определения технологических параметров и ограничений процесса теплообмена и анализа соответствия радиальной силы и удельной нагрузки в очаге деформации, которая будет не меньше предела текучести обрабатываемого материала, на основе экспериментов. Обоснованы и поставлены задачи исследований.

Во второй главе приводятся исследования качества отделочно-упрочняющей обработки быстрорежущей стали для обоснования параметров и ограничений процесса теплообмена, определения критериев оптимизации и решения контактной задачи.

Для исследования (рис.1-4) применялись экспериментальные образцы в виде колец с наружным диаметром 50 мм и круглые фасонные резцы диаметром 30 мм. Использовалась быстрорежущая сталь марки P18, P9M4K8, P6M5K5 после термообработки (HRC 64...66) и шлифования исследуемой поверхности до шероховатости 0,08 и 0,14 мкм по шкале Ra.

Обработка образцов проводилась на токарном станке модели 16K20M с упругим закреплением алмазного индентора с цилиндрической и сферической рабочими поверхностями с радиусом рабочего участка 0,9; 1,0; 1,5; 2,0 и 3,0 мм. В качестве СОЖ использовалось машинное масло марки «Индустриальное 20». Шероховатость исходной и упрочненной поверхности измерялась на профилографе-профилометре завода «Калибр» и профилометре Bruel 8 KJAR (Дания). Обработка рабочих поверхностей образцов производилась с помощью приспособления для алмазного выглаживания цилиндрических поверхностей и плоскостей на токарном станке и приспособления для алмазного выглаживания фасонных поверхностей. Исследование шероховатости поверхности после выглаживания алмазными инструментами (АВИ) показало, что быстрорежущие стали, закаленные до высокой твердости, хорошо поддаются поверхностному пластическому деформированию, при этом снижается шероховатость поверхности и упрочняется поверхностный слой детали. При прочих равных условиях лучшие результаты достигаются при алмазном выглаживании быстрорежущей стали марки P18. Несколько ниже результаты получаются при обработке стали P9M4K8 и P6M5K5. Исходная поверхность резцов шлифовалась с шероховатостью 0,3 мкм по шкале Ra. Использовался инструмент со сферической рабочей поверхностью $R_{сф}=1,0$ мм.

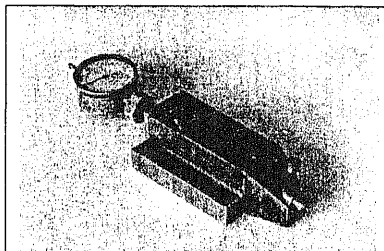


Рис. 1. Пружинная оправка для алмазного выглаживания цилиндрических и торцовых поверхностей

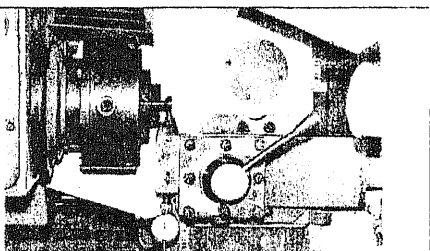


Рис. 2. Настройка токарного станка для алмазного выглаживания цилиндрического участка рабочей поверхности круглого резца

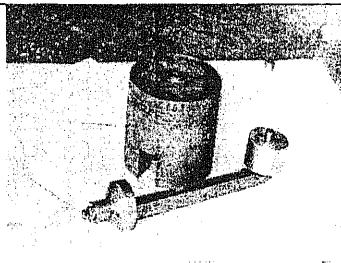


Рис. 3. Приспособление для алмазного выглаживания конусного участка фасонного резца

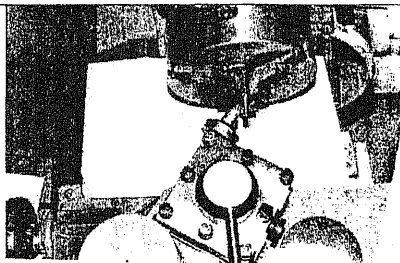


Рис. 4. Настройка токарного станка для алмазного выглаживания конусного участка поверхности круглого резца

Хорошие результаты достигаются, когда направления шероховатости после шлифования не совпадают с направлениями шероховатостей в результате выглаживания. Это получается при алмазном выглаживании на токарном станке торцевого участка рабочей поверхности круглого резца, последовательно обработанного на плоскошлифовальном станке.

Исследования поверхности при алмазном выглаживании быстрорежущих сталей показали, что оптимальное сочетание радиуса АВИ и радиальной силы создает удельную нагрузку в очаге деформации, которая будет не меньше предела текучести обрабатываемого материала. В этом случае достигается наименьшее значение шероховатости обработанной поверхности. Для исследуемых быстрорежущих сталей это сочетание находится в области 230...250 Н при $R_{сф}=1,0$ мм. Для АВИ с цилиндрической рабочей поверхностью при радиусе $R_{ц}=1,0$ мм оптимальное значение радиальной силы несколько больше. Размеры контактной площади индентора с деталью увеличиваются в направлении главного движения за счет уменьшения кривизны индентора. Оптимальное значение радиальной силы для такого АВИ находится в области 300 Н. При обработке инструментом с цилиндрической рабочей поверхностью величина шероховатости поверхности снижается. При исходной поверхности с $Ra=0,3$ мкм достигалось снижение шероховатости до $Ra=0,05$ мкм на стали P18. Цилиндрическая форма рабочей поверхности АВИ позволяла получить во всех случаях лучшее качество обработки, однако этот инструмент может быть исполь-

зован только для обработки наружных поверхностей тел вращения – цилиндрического и конусного участков рабочей поверхности круглого резца.

Основным параметром, определяющим степень упрочнения поверхностного слоя при алмазном выглаживании, является удельное давление в очаге деформации. Давление на площадке контакта инструмента с деталью, при котором прекращается прирост микротвердости в поверхностном слое детали, соответствует верхнему пределу радиальной силы, обеспечивающей получение минимальной величины шероховатости выглаженной поверхности. Поэтому оптимальное значение радиальной силы при алмазном выглаживании является одновременно и наиболее рациональной силой с точки зрения снижения исходных шероховатостей.

Алмазное выглаживание изделий из закаленной быстрорежущей стали вызывает также значительное упрочнение поверхностного слоя. Исследование микротвердости поверхностных слоев проводилось с использованием косых шлифов на образцах – кольцах с наружных диаметром 50 мм. На величину микротвердости выглаженной поверхности наибольшее влияние оказывают радиальная сила в сочетании с кривизной рабочей поверхности инструмента. Наибольший прирост микротвердости происходит после первого прохода, последующее выглаживание уже упрочняющего после первого прохода поверхностного слоя менее эффективно.

Значительный прирост микротвердости происходит при выглаживании стали после термической обработки. При выглаживании стали P18 с HRC 62...66 микротвердость поверхности повышается на 40-60%. При поверхностно-пластическом деформировании закаленных сталей упрочнение поверхностного слоя происходит в результате изменения структуры с образованием текстуры с высокой плотностью дислокаций, а также за счет распада остаточного аустенита с образованием мартенсита деформации. Выявленный эффект потребовал объяснения на основе математической модели теплообмена между инструментом и деталью в процессе поверхностно-пластического деформирования и учета влияния тепловых потоков на формирование фазового состава упрочненной поверхности.

Как одна из важнейших характеристик качества выглаженной поверхности исследуется напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя изделия. После обработки знак и величина остаточных напряжений оказывают большое влияние на функционально-эксплуатационные свойства изделий, особенно работающих в условиях циклического нагружения.

Измерения уровня остаточных напряжений проводились по методу Н.Н. Давиденкова и уточнялись на поверхности образцов путем электронно-микроскопического анализа образцов на установке «Дрон-3». Получены профили одной и той же интерференционной линии от исследуемого образца и от эталона. Ширина интерференционной линии эталона обусловлена только геометрическими факторами. Для получения наиболее достоверных результатов применен метод нескольких

интерференционных линий, соответствующих различным порядкам отражений от одной и той же плоскости.

На теплообмен между инструментом и изделием и локальные тепловые потоки в приконтактной зоне помимо режимов отделочно-упрочняющей обработки заметное влияние может оказать сам характер контакта, соотношение между упругой и пластической зонами в очаге деформации, а также положение малонагруженных поверхностей (МНП) инструмента относительно теплового источника. Так как это влияние определяется, главным образом, в направлении движения источника, то исследование условий, влияющих на перетоки теплоты, удобнее всего вести на плоской модели.

Третья глава посвящена исследованию теплообмена между инструментом и деталью в процессе поверхностно-пластического деформирования и влиянию тепловых потоков на формирование фазового состава упрочненной поверхности. Решается плоская теплофизическая контактная задача, где изделие и инструмент представляют собой полуограниченные тела с плоскостями, соприкасающимися между собой. В соответствии со схемой (рис. 5) исследуются перетоки теплоты из изделия в инструмент и из инструмента обратно в изделие.

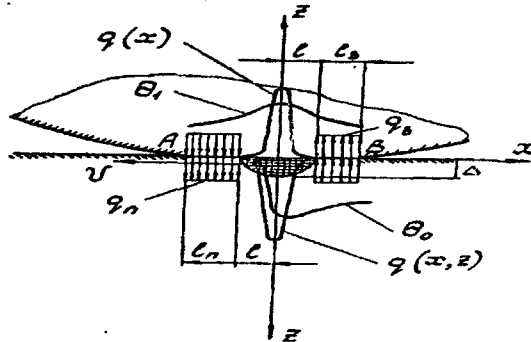


Рис. 5. Схема к расчету теплообмена между деталью и инструментом

В соответствии со схемой на рис.1 на участках длиной 2ℓ действует теплообразующий источник, движущийся со скоростью v в поверхностном слое детали. Его интенсивность определяется соотношением

$$q = q_0 \exp \left[-K_1 \left(\frac{x'}{\ell} \right)^2 - K_2 \left(\frac{z'}{\Delta} \right)^2 \right]. \quad (1)$$

На этом участке на поверхности инструмента действует стационарный теплоисточник с интенсивностью $q = q_1 \exp \left[-K_1 \left(\frac{x'}{\ell} \right)^2 \right]$,

где q_0 и q_1 - удельные интенсивности соответствующих источников.

При расчете температурного поля в каждом из взаимодействующих тел распределение контактной температуры на поверхности изделия будет

характеризоваться кривой θ_0 , а на рабочей поверхности инструмента - кривой θ_1 . Выравнивание температур на поверхности контакта представлено равномерным стоком теплоты с участка ℓ_n инструмента $-q_n$ Дж/м², а на этом же участке поверхности изделия - действием источника $+q_n$ Дж/см²; аналогично с задней части поверхности контакта - действием на участке ℓ_3 изделия стока теплоты мощностью $-q_3$ Дж/см², а на участке ℓ_3 инструмента - источника мощностью $+q_3$ Дж/м². Путем сравнения температур в средней части всех трех участков контактной поверхности определяются интенсивность тепловых потоков и влияние на них размеров зоны контакта и соотношения внутри контакта участков ℓ_n и ℓ_3 .

Для решения поставленной задачи было рассчитано температурное поле в каждом из взаимодействующих тел, вызванное действием соответствующих источников.

Температурное поле в изделии, вызванное действием движущегося объемно-полосового источника. Поскольку температурное поле в полуограниченном теле с точечным быстродвижущимся по адиабатической плоскости источником определяется выражением

$$\theta = \frac{q}{2\pi\lambda_0(x-x')} \exp\left[-v \frac{(y-y')^2 + (z-z')^2}{4a(x-x')}\right],$$

то для быстродвижущегося объемного нормально-полосового теплоисточника можно записать, что

$$\theta = \int_{-l}^l \int_{-\Delta}^{\Delta} \int_0^{\Delta} \frac{q_0 \exp\left[-K_t \left(\frac{x'}{\ell}\right)^2 - K_\Delta \left(\frac{z'}{\Delta}\right)^2\right]}{2\pi\lambda_0(x-x')} \exp\left[-v \frac{(y-y')^2 + (z-z')^2}{4a(x-x')}\right] dx' dy' dz'. \quad (2)$$

Общая тепловая мощность объемного нормально-полосового источника может быть определена путем интегрирования его интенсивности по всему объему тепловыделения:

$$Q_0 = \int_{-l}^l \int_{-\Delta}^{\Delta} \int_0^{\Delta} q_0 \exp\left[-K_t \left(\frac{x'}{\ell}\right)^2 - K_\Delta \left(\frac{z'}{\Delta}\right)^2\right] dx' dy' dz' = \frac{\pi q_0 \ell \Delta}{2\sqrt{K_t K_\Delta}}. \quad Q_0 = \frac{\pi q_0 \ell^2}{2K_z K_v},$$

откуда находится удельная интенсивность $q_0 = \frac{2K_z K_v}{\pi \ell^2} Q_0$.

После подстановки значения q_0 в (2), получено

$$\theta = \frac{4 Q_0 K_z K_v}{\pi \lambda_0 P} \int_0^{\Delta} \frac{\exp\left[-K_z^2 \chi'^2\right] d\chi'}{\sqrt{1 - \frac{8 K_v^2}{P} \chi'}}.$$

где $\chi = \frac{x}{l}$; $P_s = \frac{2vl}{a}$; $K_z = \sqrt{K_s}$; $K_v = \frac{l}{\Delta} \sqrt{K_s}$.

Температурное поле в изделии, вызванное действием полосового быстродвижущегося со скоростью v источника мощностью q Вт/м².

Температура в пределах площадки контакта l_n и l_s рассчитывается

по формуле:
$$\theta(x,0) = \frac{2q\sqrt{al}}{\lambda_0\sqrt{\pi v}} \sqrt{\chi}$$

Температура за пределами площадки контакта

$$\theta(x,0) = \frac{2q\sqrt{al}}{\lambda_0\sqrt{\pi v}} (\sqrt{\chi} - \sqrt{\chi-1}).$$

Полосовой непрерывно действующий источник равномерной интенсивности q Вт/м², действующий на рабочей поверхности инструмента. Решение задачи имеет вид: $\theta = \frac{q\ell}{2\pi\lambda_1} T(\chi, \nu, F_0^*)$

В приконтактной области $T(\chi, \nu, F_0^*) = 2,81 + \ell n F_0^* + T_1(\chi, \nu)$, где $F_0^* = \frac{at}{\ell^2}$.
Для центра площадки контакта ($\nu = 0$; $\chi = 0,5$) $T_1 = 1,37$ и $T = \ell n F_0^* + 4,18$.

Тогда $\theta(t) = \frac{q\ell}{2\pi\lambda_1} (\ell n F_0^* + 4,18)$. Окончательно получено $\theta(t) = \frac{q\ell}{2\pi\lambda_1} \ell n(65,43 F_0^*)$.

Температурное поле, вызванное действием на адиабатической плоскости полуограниченного тела линейного непрерывно действующего источника интенсивностью q Вт

$$\theta(r,t) = \frac{q}{2\pi\lambda_1} \left[-E_i \left(\frac{r^2}{4at} \right) \right].$$

Для больших значений t при $y=0$ уравнение принимает вид

$$\theta(x,t) = \frac{q}{2\pi\lambda_1} \left(\ell n \frac{4at}{x^2} - C \right), \text{ где } C = 0,5772 - \text{постоянная Эйлера.}$$

Температурное поле на рабочей поверхности инструмента, вызванное действием поверхностного нормально-полосового источника

$$\theta = \frac{Q_1 \ell n(16 K_s F_0^*)}{2\pi\lambda_1}.$$

Рассчитывается температура в центральных точках площадки шириной $l_1; l_2; 2\ell$ со стороны инструмента и изделия. Определяется температура в соответствующих точках со стороны изделия, приравниваются выражения для температур в соответствующих точках контакта и записываются полученные соотношения как система линейных уравнений. После получения канонической формы системы линейных уравнений определяются по формуле Крамера неизвестные интенсивности тепловых потоков как отношения детерминантов. Расчеты по конечным формулам показывают, что более мощные тепловые потоки соответствуют

большой сосредоточенности теплового источника и лучшей теплопроводности материала инструмента.

Приведенные результаты подтверждают исключительную роль МНП в теплообмене при ПД. Наличие таких участков поверхности впереди и сзади теплоисточника приводит к значительным перетокам теплоты из изделия в инструмент и из инструмента обратно в изделие. При этом происходит охлаждение наиболее нагретой области изделия, что достигается привлечением дополнительных объемов металла изделия перед движущимся источником для температурного поля. МНП создают непрерывный вихревой тепловой поток, движущийся вместе с источником теплоты. Естественно предположить, что такой катящийся тепловой вихрь (рис. 6 и 7), способствующий непрерывному и более интенсивному рассеиванию тепловой энергии источника, может оказать существенное влияние на качество упрочненной поверхности. Показано, что наиболее благоприятное распределение внутренних напряжений возникает при большем радиусе инструмента или в том случае, когда при обработке меньшая кривизна рабочей поверхности инструмента располагается в направлении скорости обработки. В этих условиях возникает упруго-пластический контакт с увеличенными размерами упругих участков в плоскости, где наиболее сильно деформировано температурное поле, что создает благоприятные условия для перетока теплоты в приконтактной зоне.

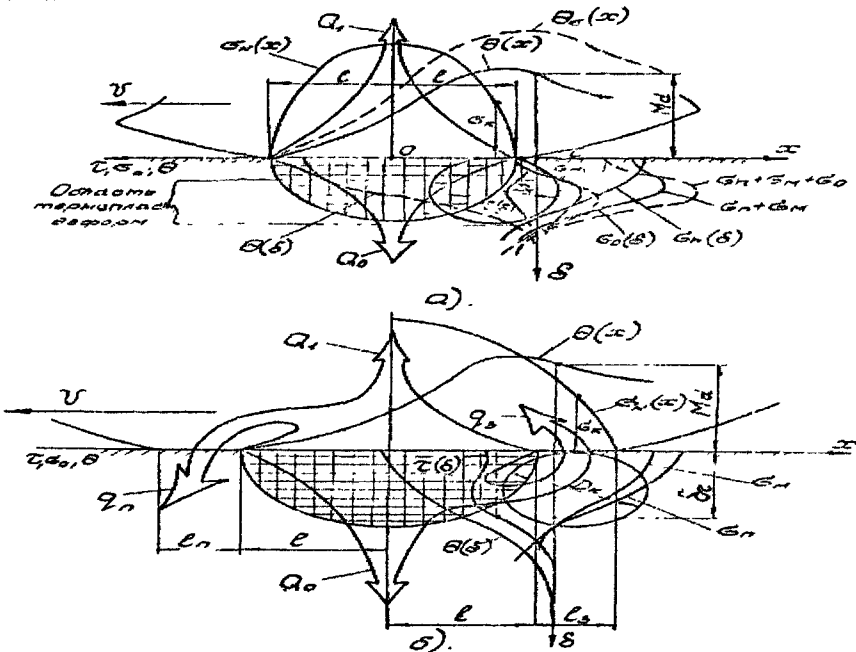


Рис. 6. Схема формирования остаточных напряжений

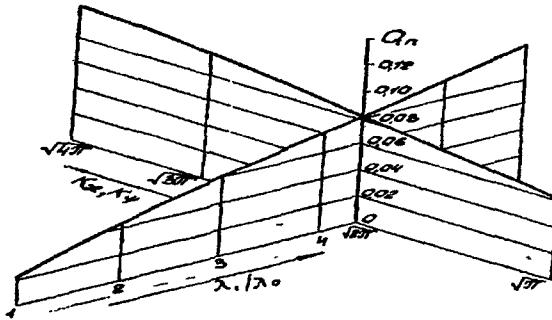


Рис. 7. Влияние теплофизических характеристик материалов индентора и изделия $\lambda : \lambda_0$, а также коэффициентов K_x и K_y на тепловой поток Q_n

В четвертой главе рассматриваются результаты практического применения в технологии машиностроения полученных результатов. На основе данных, полученных при аналитическом исследовании тепловых потоков и экспериментального исследования качества обработки, сформированы основные принципы проектирования оптимального режима алмазного выглаживания рабочих поверхностей круглых резцов.

Технологический режим обработки обусловлен кривизной индентора, нормальной силой, скоростью главного движения и величиной подачи, поэтому обоснование оптимальных значений этих параметров проводилось в два этапа. Первый этап – определение наиболее целесообразных значений кривизны индентора и нормальной силы. Установлено, что высокое качество поверхности и благоприятное распределение остаточных напряжений достигаются цилиндрической рабочей поверхностью инструмента с радиусом 0,8...1,0 мм при обработке быстрорежущих сталей твердостью HRC62...66. При этом радиальная сила находится в пределах $P=200...250$ Н.

В общем виде оптимальные параметры алмазного выглаживания (кривизна индентора K и радиальная сила P) определяются требуемой толщиной упроченного слоя Δ , жесткостью заготовки f и исходной твердостью изделия. Целевая функция должна определить наименьшее удельное давление в очаге деформации, которое удовлетворит техническим ограничениям. В качестве целевой функции выбирается произведение радиальной силы на квадрат кривизны индентора $F_1 = Pk^2 \rightarrow \min$.

Второй этап решения задачи оптимизации процесса сводится к определению оптимальных параметров кинематики процесса – скорости главного движения U и скорости движения подачи S . Эти параметры ограничиваются степенью отделки поверхности R_a , минимальной величиной подачи S , меньше которой возникает перенаклеп, и максимальным значением контактной жесткости. Критерием оптимальности при определении оптимального режима алмазного выглаживания установлено основное технологическое время, которое должно быть минимальным в области допустимых режимов обработки.

Основные параметры обработки круглых фасонных резцов зуборезной головки: обрабатываемый материал – быстрорежущая сталь P18, HRC 62...64. Предел прочности при $\tau_s = 3500...3700$ МПа. Теплофизические коэффициенты $a = 57 \cdot 10^{-7}$ м²/с; $\lambda = 27,2$ Вт/м⁰С. Радиус круглого резца $r = 0,033$ м. Инструмент – алмазный индентор $R_{\text{и}} = 0,1$ см, $\lambda = 146,5$ Вт/м⁰С. Режим обработки: $n = 500$ об/мин; $v = 1,745$ м/с; $S = 0,0016$ см/об; $P = 200$ Н.

Исследование износостойкости круглых резцов проверялось на токарном станке модели 16К20М. Резцовая головка диаметром 6" с двумя резцами закреплялась на шпинделе станка. Для повышения точности сравнительных испытаний один резец в резцовой головке был с обычной задней поверхностью, а второй – с выглаженной. Шероховатость поверхности в том и другом случаях составляла 0,25...0,30 мкм по шкале Ra. В качестве образцов использовались державки токарных резцов из стали 45 30x30 мм. Величина износа в виде длины задней поверхности W измерялась с помощью инструментального микроскопа. Одновременно с величиной износа измерялась сила резания в направлении скорости главного движения. В результате экспериментов установлено, что величина износа снижается с увеличением угла наклона режущей кромки λ . При этом величина износа выглаженных резцов в 1,5...2 раза меньше. Для упрочненных алмазным выглаживанием резцов изменился и сам характер износа: уменьшился непосредственно износ и одновременно снизилась интенсивность изнашивания. Величина износа для выглаженных резцов снижается также и с увеличением переднего угла γ . Установлено, что для резцов с углом $\gamma = 10^\circ$ и углом $\lambda = 10^\circ$ снижается износ и интенсивность изнашивания резцов. Эксперименты по измерению сил резания показали, что при прочих равных условиях сила резания практически имеет одно значение для упрочненных и неупрочненных резцов.

Сделан вывод, что снижение величины износа упрочненных алмазным выглаживанием круглых резцов определяется качеством их рабочих поверхностей: при одной и той же высоте микронеровностей для выглаженных резцов характерна округлая форма шероховатостей, поэтому интенсивность износа во время работы инструмента уменьшается. В самом процессе изнашивания определяющими являются упрочненный характер поверхностного слоя и остаточные сжимающие напряжения в нем.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Проведено исследование возможностей повышения качества и эксплуатационных свойств круглых резцов зуборезных головок путем алмазного выглаживания рабочих поверхностей, оптимизации решения задачи теплопроводности с учетом условий протекания процесса теплообмена и ограниченности взаимодействующих тел. Проведено комплексное исследование новых сторон физики процесса упрочнения и

установлена роль температурно-силового фактора в формировании остаточных напряжений в упрочненном слое изделия.

2. Разработаны теоретические положения, объясняющие возникновение повышенной пластичности в контакте, обоснованные исследованиями тепловых потоков в приконтактной зоне и остаточных напряжений в упрочненном слое, установлена их зависимость от условий теплообмена и контактных температур, предложена модель, описывающая теплообмен между инструментом и обрабатываемой деталью, позволяющая определить оптимальные условия протекания процесса, при которых обеспечиваются требуемое качество изделий и высокая экономичность обработки.

3. Разработана методика нахождения области рациональных режимов алмазного выглаживания быстрорежущих сталей, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства круглых фасонных резцов на основе изучения теплообмена и управления тепловыми потоками в очаге деформации. Дано обоснование рационального способа анализа теплообмена между движущимися относительно друг друга инструментом и обрабатываемой деталью.

4. Установлена роль упругих участков контактирующих поверхностей в теплообмене при алмазном выглаживании. Это достигнуто за счет математического описания характера тепловых потоков через рабочую поверхность инструмента с участками очагов деформаций, имеющими наибольший перепад температур.

5. Анализ тепловой и силовой сторон процесса позволил получить адекватное и содержательное представление о формировании остаточных напряжений в поверхностном слое детали и определить условия, при которых возникает повышенная пластичность в очаге деформации. При поверхностно-пластическом деформировании закаленных сталей упрочнение поверхностного слоя происходит в результате изменения структуры с образованием текстуры с высокой плотностью дислокации, а также за счет распада остаточного аустенита с образованием мартенсита деформации.

6. Выполнено исследование качества отделочно-упрочняющей обработки круглых резцов зуборезных головок из быстрорежущих сталей марки P18, P9M4K8, P6M5K5. Эксперименты показали, что алмазное выглаживание позволяет снизить шероховатость поверхности с 0,3-0,33 мкм до 0,1-0,12 мкм по шкале R_a , повысить поверхностную твердость в 1,3-1,5 раза, при этом в поверхностном слое возникают сжимающие остаточные напряжения.

7. Исследование параметров точности размеров и геометрической формы изделий, шероховатости и сил трения показали, что возникновение повышенной пластичности в очаге деформации дает возможность повышать производительность обработки и стойкость инструмента.

Выполненное исследование стало основой при разработке оригинальных конструкций устройств для отделочно-упрочняющей обработки.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Барац Ф.Я. Математические модели технологической теплофизики и физических процессов: монография / Я.И. Барац, И.А. Маслякова, Ф.Я. Барац. - Саратов: СГТУ, 2002. - 90 с.

2. Барац Ф.Я. Роль тепловых процессов при обработке нержавеющей стали поверхностным пластическим деформированием / Ф.Я. Барац, С.Я. Торманов, Я.И. Барац // Точность и надежность технологических и транспортных систем: сб. ст. 5-й Международной научно-технической конференции. - Пенза, ПДНТП, 1999. - С. 186-188.

3. Барац Ф.Я. Применение принципа пространственно-временного соответствия для решения теплофизических задач с движущимися источниками теплоты / Я.И. Барац, Ф.Я. Барац, И.А. Маслякова // Технический вуз – наука, образование и производство в регионе, Материалы Всероссийской научно-технической конференции. - Тольятти, ТГТУ, 2001. - С. 73-78.

4. Барац Ф.Я. Новое в зубообработке главной пары заднего моста автомобиля / Ф.Я. Барац, А.А. Аксенов, Я.И. Барац // 100 лет российскому автомобилю. Промышленность и высшая школа: материалы Международной научно-технической конференции. - М.: МАМИ, 1996. С.2-4.

5. Барац Ф.Я. Исследование качества отделочно-упрочняющей обработки быстрорежущей стали / Ф.Я. Барац, А.В. Кочетков // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: сб. науч. трудов. Саратов: СГТУ, 2005. - С. 127-131.

6. Патент РФ № 2203784. Зуборезная головка/ Ф.Я.Барац, Я.И.Барац // Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели». - 2003. - № 13.

7. Патент РФ № 2217271. Зуборезная головка / Я.И. Барац, А.Г. Двойнев, А.А. Аксенов, Ф.Я. Барац // Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели». - 2003. - № 33.

Барац Фридрих Яковлевич
**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
КРУГЛЫХ РЕЗЦОВ ПУТЕМ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ
ОБРАБОТКИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ АЛМАЗНЫМ
ВЫГЛАЖИВАНИЕМ**

АВТОРЕФЕРАТ

Ответственный за выпуск д.т.н. А.В.Кочетков

Корректор Л.А.Скворцова

Лицензия ИД № 06268 от 14.11.01

Подписано в печать 04.05.06

Формат 60×84 1/16

Бум. тип.

Усл. печ.л. 0,93 (1,0)

Уч.-изд.л. 0,9

Тираж 100 экз.

Заказ 255

Бесплатно

Саратовский государственный технический университет

410054, Саратов, Политехническая ул., 77

Отпечатано в РИЦ СГТУ. 410054, Саратов, Политехническая ул., 77