

Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

ФАДЮШИН Станислав Абрамович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ПРЕРЫВИСТОГО СТУПЕНЧАТОГО ТОРЦОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

Специальность 05.02.08 - "Технология
машиностроения"

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

Челябинск
1976

Работа выполнена на кафедре "Технология машиностроения"
Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
КОРЧАК С.Н.

Научный консультант – кандидат технических наук, доцент
КОШИН А.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
ХУДОБИН Л.В.,
кандидат технических наук,
зав. лабораторией МУРДАСОВ А.В.

Ведущее предприятие – Гродненский завод карданных валов.

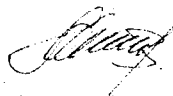
Защита состоится 17 ноября 1976 г., в 15 часов, в аудитории 244
на заседании специализированного совета К-597/1 по присуждению
ученой степени кандидата технических наук в Челябинском политехни-
ческом институте имени Ленинского комсомола (454044, Челябинск, 44,
проспект им. В.И.Ленина, 76, Челябинский политехнический институт).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " " октября 1976 г.

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся
темой диссертации, принять участие в заседании совета. Отзывы
на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим
направлять в специализированный совет К-597/1 по адресу: 454044,
г. Челябинск, 44, проспект им. В.И.Ленина, 76, ЧПИ.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук, доцент

 (В.М. МЕНЬШАКОВ)



Актуальность работы. XXV съездом КПСС десятая пятилетка определена как пятилетка качества. В материалах съезда отмечается, что улучшение качества равносильно увеличению количества выпускаемой продукции. В связи с этим в машиностроении большое значение приобретают вопросы качества, связанные с износостойкостью поверхностных слоев деталей, формируемых на финишных операциях технологического процесса.

Одним из наиболее производительных методов окончательной обработки плоских поверхностей является торцовое шлифование. Этим методом шлифуются массовые детали, годовая программа которых исчисляется сотнями тысяч штук. К таким деталям относятся крестовины карданных валов, клапаны двигателей внутреннего сгорания, кольца подшипников и т.д. Возможность удаления припуска за один проход обеспечивает этому процессу производительность в 8-10 раз большую, чем шлифование периферией круга. В результате этого процесс торцового шлифования является одним из перспективных методов окончательной обработки плоскостей закаленных деталей.

Наряду с достоинствами этот метод обладает существенными недостатками: отпуск поверхностных слоев закаленных деталей после шлифования, появление прижогов, микротрещин. Наличие дефектного слоя на обработанной поверхности (рис.1) резко снижает эксплуатационные характеристики деталей и является одной из основных причин, сдерживающих распространение этого метода обработки.

Причиной снижения твердости закаленных деталей является интенсивный нагрев их в зоне шлифования. Поэтому все пути совершенствования торцового шлифования сводятся, по существу, к отысканию методов снижения его

Причиной снижения твердости закаленных деталей является интенсивный нагрев их в зоне шлифования. Поэтому все пути совершенствования торцового шлифования сводятся, по существу, к отысканию методов снижения его

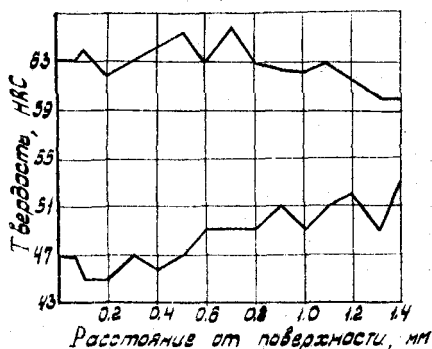


Рис.1. Изменение микротвердости цементованного слоя детали после шлифования (данные Горьковского завода карданных валов):

- 1 - до шлифования;
- 2 - после шлифования

теплонапряженности. Известные методы не решают задачу достаточного снижения теплонапряженности без снижения производительности с одно-

временным обеспечением требований шероховатости и точности. Каждый из них позволяет управлять процессом нагрева детали лишь в узких пределах и имеет весьма ограниченное число факторов управления. Поэтому актуальной задачей в настоящее время является изыскание методов резкого снижения теплонапряженности без снижения производительности и совершенствования на этой базе процесса торцового шлифования.

Цель работы. В силу вышеизложенного конечной целью работы является: разработка методики проектирования и конструкций кольцевых ступенчатых кругов, обеспечивающих требуемое качество проточенной поверхности без снижения производительности.

Основные задачи. Для достижения поставленной цели необходимо установить взаимосвязи факторов управления (конструктивных параметров круга, абразивных характеристик шлифующих колец и т.д.) с показателями операции. Поэтому были поставлены следующие основные задачи.

1. Обоснование и определение величины температурного критерия.
2. Построение температурного поля детали с учетом особенностей процесса шлифования кольцевыми ступенчатыми кругами.
3. Разработка инженерной методики проектирования кольцевых ступенчатых кругов.
4. Производственные испытания эксплуатационных характеристик кольцевых ступенчатых кругов, спроектированных по разработанной методике.

Научная новизна. Впервые установлены области рационального применения двух расчетных схем в теплофизике шлифования. Сравнительный анализ на ЭВМ температурных полей, построенных по схемам: основанной на гипотезе сплошного контакта и учитывающей фактическую дискретность контакта детали с кругом, позволил сделать заключение о том, что первую схему целесообразно применять в случае необходимости определения температуры в слоях детали, расположенных более чем на 0,02 мм от ее поверхности. Отработана методика исследования температурного поля на различных расстояниях от поверхности детали с помощью искусственных микротермопар.

В результате решения температурной задачи, учитывающей специфику шлифования кольцевыми ступенчатыми кругами, определены области допустимых изменения параметров управления для каждого шлифующего кольца ступенчатого круга.

Впервые предложен и использован мощный фактор управления процессом торцового шлифования – разделение рабочих функций шлифующих колец.

Практическая полезность. Разработана инженерная методика проектирования кольцевых ступенчатых кругов.

Спроектирована и внедрена в производство гамма конструкций кольцевых ступенчатых кругов для шлифования стальных деталей, обеспечивающая заданную твердость поверхностного слоя без снижения производительности. В производственных условиях установлено, что разработанные круги обеспечивают большую стабильность показателей качества обработанных деталей.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, а также длительная апробация внедренных в производство конструкций кольцевых ступенчатых кругов позволили разработать нормативы по выбору параметров кольцевых ступенчатых кругов и режимов их эксплуатации.

Реализация научно-технических результатов в промышленности.

1. Кольцевые ступенчатые круги, спроектированные в соответствии с разработанной методикой внедрены на четырех операциях шлифования торцов крестовин автомобилей ГАЗ-51, ЗИЛ-131, МАЗ-500 и трактора К-700 на Гродненском и Чимкентском заводах карданных валов. Суммарный годовой экономический эффект составил 102,9 тыс. руб.

2. Разработаны нормативные рекомендации по выбору конструкций кольцевых ступенчатых кругов и режимов их эксплуатации. Эти рекомендации прошли апробацию на Волжском автомобильном заводе и включены в третье издание справочника "Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени для технического нормирования работ на шлифовальных и доводочных станках".

Апробация работы. Результаты исследований по теме диссертации докладывались:

1. На научно-технических конференциях в Челябинском политехническом институте им. Ленинского комсомола с 1968 по 1976 гг.

2. На Всесоюзной конференции "Теория и практика алмазной и абразивной обработки деталей приборов и машин". Москва, МВТУ им. Н.Э. Баумана, II-III декабря 1973г.

3. На межзональном семинаре "Прогрессивные методы шлифования". Челябинск, 1975.

4. На межзональном семинаре "Прогрессивные методы шлифования". Челябинск, 1976.

5. На семинаре в лаборатории алмазно-абразивной обработки Волжского автомобильного завода. Тольятти, 1976.

Объем работы, ее структура. Работа изложена на 132 страницах машинописного текста; состоит из введения, пяти глав и заключения.

Библиография содержит 145 наименований. В диссертации имеется 52 иллюстрации, 19 таблиц, три нормативные карты и одно приложение.

1. КОЛЦЕВЫЕ СТУПЕНЧАТЫЕ КРУГИ - ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ТОРЦОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

В результате многолетних исследований по совершенствованию процесса торцового шлифования и изыскания методов обеспечения стабильности качества поверхности шлифованных деталей без снижения производительности удалось прийти к принципиально новому конструктивному решению этой проблемы. Существо этого решения состоит в

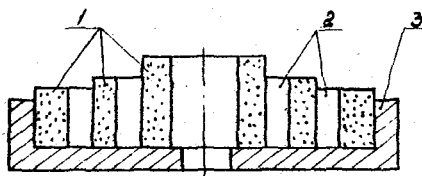


Рис.2. Схема сборного инструмента для прерывистого ступенчатого шлифования:

- 1 - шлифующие кольца;
- 2 - воздушные зазоры;
- 3 - планшайба

том, что шлифовальный круг заменяется комплексным инструментом, состоящим из отдельных concentрических колец, сложенных с зазором друг в друга (рис.2). Основными недостатками сегментных кругов является возникновение вибраций. В предлагаемом инструменте из-за малой скорости встречи детали с режущим кольцом (скорость движения детали, а не скорость круга) сила удара детали с кольцом резко уменьшена, а вследствие ограниченного числа встреч (2...3) возможность возникновения вибрации резко уменьшается.

Данная конструкция, кроме прерывания процесса, обладает еще одним мощным фактором воздействия на процесс шлифования - это разделение рабочих функций шлифующих колец. Регулируя за счет специальной ступенчатой заправки припуск, снимаемый каждым шлифующим кольцом и назначая различные абразивные характеристики для каждого кольца, можно организовать процесс так, чтобы первое кольцо являлось черновым, второе - получистовым и третье - чистовым.

Таким образом, кольцевые ступенчатые круги позволяют активно воздействовать на процесс шлифования и управлять им по трем направлениям: регулирование времени нагрева и охлаждения посредством назначения ширины шлифующих колец и зазоров между ними; регулирование интенсивности тепловыделения на каждом шлифующем кольце посредством соответствующего распределения снимаемого припуска по кольцам;

подбор характеристики каждого шлифующего кольца (материал зерна, зернистость, твердость и т.д.). Помимо этого возможно управление интенсивностью теплонапряженности путем подвода и регулирования количества СОЖ под каждым кольцом.

Такое множество факторов управления с учетом их сложных взаимовлияний требует научного подхода к вопросу проектирования и назначения режимов эксплуатации кольцевых ступенчатых кругов.

Поскольку основным сдерживающим фактором процесса торцового шлифования является его высокая теплонапряженность, в первую очередь, необходимо установить природу и величину температурного критерия, а также произвести теплофизический анализ процесса, целью которого является установление связей температурного критерия с параметрами кольцевого ступенчатого инструмента и условиями его эксплуатации.

II. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ КРИТЕРИЙ

Повышенные температуры в зоне шлифования вызывают структурные превращения в поверхностных слоях деталей, приводящие зачастую к снижению твердости и вызывающие прижоги. Поэтому естественно принять в качестве критерия предельно допустимую температуру нагрева детали, гарантирующую требуемую твердость металла.

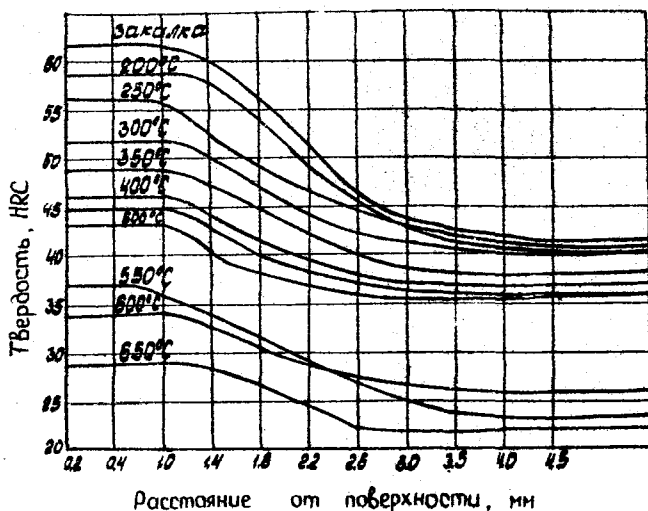


Рис.3. Изменение твердости в зависимости от температуры нагрева детали

Для оценки влияния температуры нагрева детали на ее твердость проведено исследование микротвердости образцов из закаленной стали, подвергнутых нагреву до различных температур. Как видно (рис.3), твердость цементованных закаленных сталей при отпуске хорошо согласуется с изменением температуры нагрева.

Эти кривые получены при медленном нагреве в печи. Скорость нарастания температурного поля при шлифовании 600...15 000 град/с, то есть в десятки тысяч раз больше. Как показано в работе М.В.Белюса, В.Т.Черепина, М.А.Васильева "Превращения при отпуске стали", при ускоренном нагреве (с 200...60 000 град/с) превращения отпуска проходят достаточно полно. В этом случае температурные интервалы превращений сдвигаются на 100°C в сторону увеличения. Таким образом, по твердости детали после шлифования с соответствующей корректировкой можно судить о температурах в зоне шлифования.

Для цементованных сталей предельно допустимая температура нагрева при шлифовании, гарантирующая твердость не ниже 50 ед. НРС, составляет 300°C.

III. АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ДЕТАЛИ В ЗОНЕ ШЛИФОВАНИЯ

В настоящее время в теплофизике шлифования существуют и широко используются две различные расчетные схемы. Схема, учитывающая дискретность контакта, реально отражает кинематику температурного поля и основные его особенности. Другая схема основана на довольно грубом допущении сплошности контакта детали с кругом. Однако она проще в математическом отношении и, как показывает практика, построенные по ней температурные зависимости в ряде случаев оказываются работоспособными. Установление областей рационального применения той или иной расчетной схемы имеет практическое значение для теплофизики шлифования. Оно позволит обоснованно применять более простую математическую модель. Для этой цели проведен сравнительный анализ решений С.Н.Корчака, В.И.Пилинского, учитывающих дискретность контакта и зависимостей В.А.Сипайлова, А.В.Подзая, П.И.Ящерицина, А.К.Покура и др., основанных на гипотезе сплошного контакта.

Для эквивалентных тепловых источников указанные зависимости преобразованы в следующие безразмерные критериальные уравнения.

$$f_1 = \sum_{k=0}^{n-1} \sqrt{\beta - k} \operatorname{erfc} \frac{\delta}{\sqrt{\beta - k}} \operatorname{H}(\beta - k) - \sqrt{\beta - \alpha - k} \operatorname{erfc} \frac{\delta}{\sqrt{\beta - \alpha - k}} \operatorname{H}(\beta - \alpha - k), \quad (I)$$

$$f_2 = \alpha \sqrt{\beta} \operatorname{erfc} \frac{\delta}{\sqrt{\beta}} \quad (2)$$

здесь $\alpha = \frac{\tau}{T}$ - безразмерное время импульса;

$\delta = \frac{y}{\sqrt{4\alpha\lambda T}}$ - безразмерная глубина;

$f = \frac{q\lambda}{2q\sqrt{\alpha\lambda T}}$ - безразмерная температура;

$\beta = \frac{t}{T}$ - безразмерное текущее время;

$\theta(y, t)$ - температура металла детали на глубине "y" в момент времени "t";

χ и λ - температуропроводность и теплопроводность металла;

q - интенсивность теплового источника (зерна);

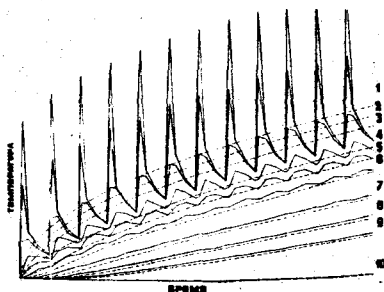
n - число режущих зерен;

τ - время действия теплового источника;

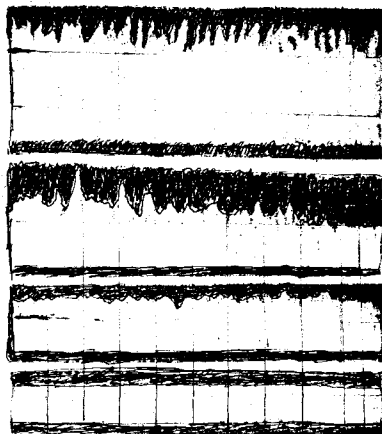
T - период действия тепловых импульсов (зерен);

$H(z) = \begin{cases} 0 & z < 0 \\ 1 & z \geq 0 \end{cases}$ - функция Хевисайда.

На рис. 4а показаны результаты расчета на ЭВМ температурных полей на разных глубинах, проведенные по одной и другой расчетной схеме для средних условий шлифования углеродистых сталей ($\tau = 3 \cdot 10^{-6}$ с, $T \sim 1,6 \cdot 10^{-4}$ с, $\alpha = 5 \cdot 10^{-6}$ м²/с, $n = 12$).



а



б

Рис. 4. Температурное поле поверхностных слоев металла

— расчетная схема с дискретным контактом;

--- расчетная схема со сплошным контактом

Результаты этого расчета подтверждены экспериментальным исследованием: (рис. 4б) изменения характера температурного поля по мере

продвижения в глубь детали, проведенным с помощью малоинерционной искусственной микротермопары и осциллографа с памятью 08-II.

Как видно из рис.4а, начиная с некоторой глубины, погрешности, вносимые пренебрежением дискретности контакта для различных глубин, незначительны (табл. I), поэтому для целей настоящего исследования вполне приемлема расчетная схема, базирующаяся на гипотезе сплошного контакта.

Таблица I

Расчетные погрешности, вносимые пренебрежением дискретности контакта детали с кругом

Расстояние от поверхности обработки в мкм	4,5	7	12
Погрешность определения температуры по сплошной схеме в %	10	5	1

Теплофизические особенности предлагаемого способа шлифования таковы, что на деталь в зоне обработки последовательно воздействуют тепловые источники (шлифующие кольца) и мощные потоки СОЖ (кольцевые зазоры).

Математически в одномерной постановке этот процесс описывается следующим образом.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial U}{\partial t} = \chi \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \quad (0 < x < \infty) \\ \quad \quad \quad (0 < t < \infty) \\ U(x, 0) = 0 \\ \frac{\partial U}{\partial x}(0, t) = h(t) \left[U(0, t) - U_{\text{ж}} \right] - \frac{Q(t)}{\lambda} \end{array} \right. \quad (3)$$

где $h(t) = \frac{\alpha(t)}{\lambda}$

$\alpha(t)$ - коэффициент теплоотдачи в СОЖ.

Вид функций $Q(t)$ и $h(t)$ определяется кинематикой исследуемого способа шлифования (рис.5). Это - третья краевая задача для уравнения теплопроводности. Наличие переменных во времени коэффициентов значительно осложнит решение этой задачи.

Так как целью проводимого расчета является определение величины максимальной температуры нагрева металла в зоне шлифования, то учитывая результаты И.Г.Кигеля, принято равномерное распределение интенсивности тепловыделения в пределах каждого шлифующего кольца, то есть

$$Q_i(t) = Q_i$$

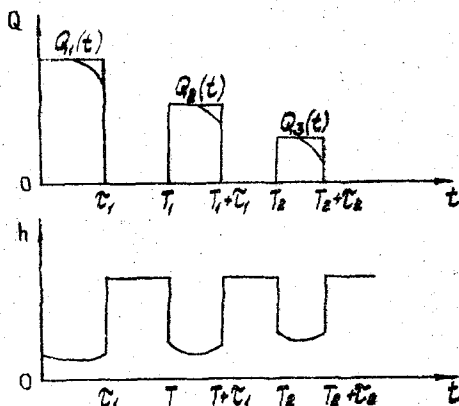


Рис. 5. Схема действия теплового источника и изменения коэффициента теплоотдачи

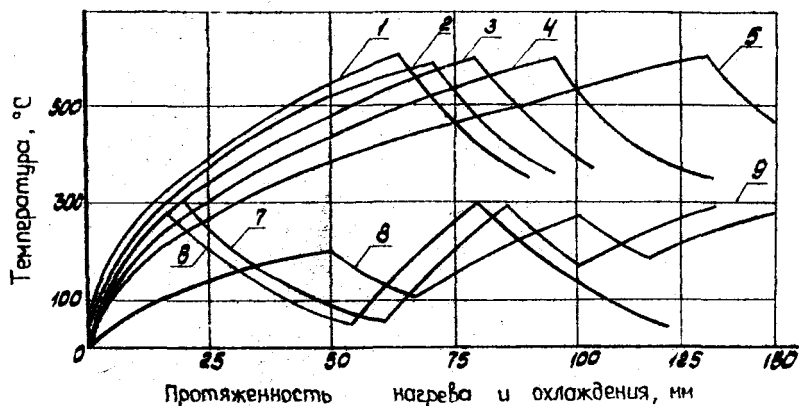
Также произведено усреднение коэффициента теплоотдачи в СЖ. Для сохранения величины максимальной температуры введен поправочный коэффициент на мощность теплового источника.

Используя методы операционного исчисления для поставленной задачи с постоянными коэффициентами, получено аналитическое решение

$$\begin{aligned}
 U(x, t) = & \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{\lambda h} \left\{ \left[\operatorname{erfc} \frac{x}{\sqrt{4\alpha(t-T_i)}} - e^{hx + xh^2(t-T_i)} \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{\sqrt{4\alpha(t-T_i)}} + \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. + h\sqrt{\alpha(t-T_i)} \right] H(t-T_i) - \left[\operatorname{erfc} \frac{x}{\sqrt{4\alpha(t-T_i-\tau_i)}} - e^{hx + xh^2(t-T_i-\tau_i)} \right. \right. \\
 & \left. \left. \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{\sqrt{4\alpha(t-T_i-\tau_i)}} + h\sqrt{\alpha(t-T_i-\tau_i)} \right) \right] \cdot H(t-T_i-\tau_i) \right\} \quad (4)
 \end{aligned}$$

Это выражение описывает температурное поле детали на глубине x в момент времени t . Действие каждого шлифующего кольца описывается отдельным $(i-\text{тым})$ слагаемым. Число шлифующих колец n .

На рис. 6 приведены результаты расчета температурных полей для различных конструкций круга с разными распределениями рабочих функций шлифующих колец.



- Рис. 6. Вид возможных температурных кривых при разных конструктивных параметрах и режимах резания
- 1, 2, 3, 4, 5 - Нагрев детали до температуры 600°C сплошными кругами при глубине резания $0,3\text{ мм}$, скорости круга 30 м/сек и скоростях детали соответственно 10 м/мин ; 8 м/мин ; 6 м/мин ; 4 м/мин ; 2 м/мин
 - 6 - Нагрев первым кольцом до 300°C при съеме припуска $0,4\text{ мм}$, охлаждение в промежутке между кольцами шириной 40 мм , последующий нагрев при съеме припуска $0,3\text{ мм}$ и выход детали из зоны резания;
 - 7 - Нагрев первым кольцом до 300°C при съеме припуска $0,3\text{ мм}$, охлаждение в промежутке между кольцами шириной 40 мм , последующий нагрев при съеме $0,3\text{ мм}$, охлаждение в промежутке между кольцами шириной 15 мм , последующий нагрев при съеме припуска $0,1\text{ мм}$ и выход детали из зоны резания;
 - 8 - Нагрев первым кольцом до 200°C при съеме припуска $0,1\text{ мм}$, охлаждение в промежутке между кольцами шириной 15 мм , последующий нагрев до 270°C при съеме припуска $0,2\text{ мм}$, охлаждение в промежутке между кольцами шириной 15 мм , последующий нагрев при съеме $0,1\text{ мм}$, выход детали из зоны резания;
 - 9 - Линия критической температуры

IV. ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ШЛИФОВАНИЯ КОЛЬЦЕВЫМИ СТУПЕНЧАТЫМИ КРУГАМИ

Как следует из кривых 6, 7, 8 рис. 6, за счет соответствующего назначения числа шлифующих колец, их размеров и распределения припусков между ними можно управлять процессом таким образом, что максимальный нагрев детали не будет превышать заданной температуры. Чтобы в любой момент времени температура поверхности металла не превышала некоторого предельно допустимого значения, достаточно потребовать

$$U_{\max}(0) \leq U_{\text{пр}} \quad (5)$$

Функция $U(\alpha, t)$ не является одноэкстремальной. Поэтому неравенство распадается на систему неравенств, число которых определяется числом шлифующих колец

$$\left. \begin{array}{l} \text{I кольцо} \\ \text{II кольцо} \\ \text{III кольцо} \end{array} \right\} \begin{array}{l} U_1^{\max}(0) \leq U_{\text{пр}} \\ U_2^{\max}(0) \leq U_{\text{пр}} \\ U_3^{\max}(0) \leq U_{\text{пр}} \end{array} \quad (6)$$

Неравенства системы не являются независимыми - они описывают максимумы температурного поля, соответствующие окончанию работы каждого шлифующего кольца. Рассматривая соотношение (4) в указанные моменты времени для $x = 0$, можно получить выражения максимумов температурного поля. Полученные выражения представляют собой трансцендентные уравнения, связывающие температурный критерий и параметры управления процессом. Наиболее эффективными параметрами управления теплонапряженностью являются интенсивность теплового источника Q и время его действия τ . Учитывая для реальных соотношений параметров исследуемого процесса малость аргумента трансцендентной функции $h\sqrt{x\tau} \leq 0,12$, получены приближенные представления неравенств системы (6), позволяющие разрешить их относительно параметров управления.

Первое неравенство имеет вид:

$$Q_0\sqrt{\tau} < \frac{U_{\text{пр}}\lambda\sqrt{x}}{2\sqrt{x}} \quad (7)$$

Для второго шлифующего кольца получаем

$$Q_1\sqrt{\tau} < U_{\text{пр}}\lambda\sqrt{\frac{x}{\alpha}} - Q_0\tau_0 \left[\frac{1}{\sqrt{\tau_1 + \tau_0}} + 2h^2x(\tau_1 + \tau_0) - h\sqrt{x\alpha} \right] \quad (8)$$

Эти неравенства определяют области (рис. 7) допустимого изменения управляющих параметров. Поскольку время действия τ каждого источника определяется шириной соответствующего шлифующего кольца, а интенсивность источника Q - в основном припуском, полученные неравенства позволяют выйти на обоснованный расчет конструктивных параметров кольцевых ступенчатых кругов.

Кроме управления геометрией зоны шлифования, кольцевые ступенчатые круги имеют еще целый ряд управляющих факторов: материал зерна, размер зерна (зернистость), вид связки, твердость, структура, режим резания и т.д. Характеристики, касающиеся абразивного

материала, в силу разделения рабочих функций колец, для каждого шлифующего кольца назначаются дифференцированно.

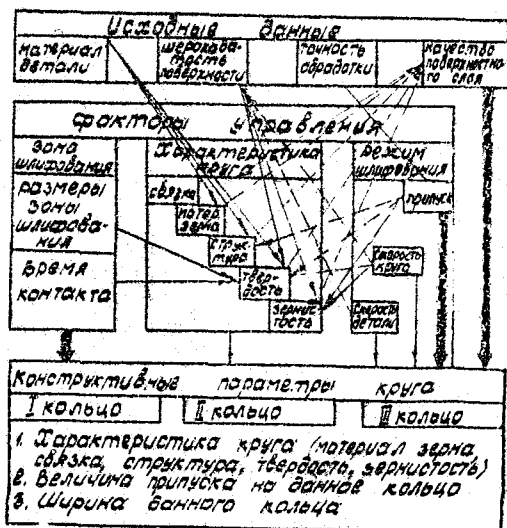


Рис. 7. Схема параметров управления процессом торцевого шлифования

Все это множество управляющих параметров характеризуется большим количеством сложных и неоднозначных связей с исходными и результирующими показателями (рис. 7). В результате анализа выявлены доминирующие связи (на схеме указаны жирными линиями), принятые основными для обеспечения соответствующих показателей качества шлифования.

У. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВЫХ СТУПЕНЧАТЫХ КРУГОВ

Таким образом, проектирование кольцевого ступенчатого круга предусматривает решение двух основных задач:

1. Общая компоновка инструмента, включающая в себя определение числа шлифующих колец, распределение припуска и рабочих функций между ними.

2. Расчет конструктивных параметров шлифующих колец.

Общая компоновка круга, в первую очередь, предусматривает определение количества шлифующих колец.

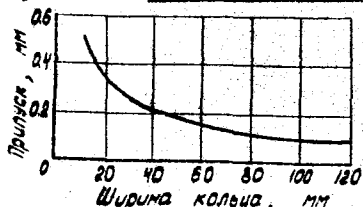


Рис. 8. Зависимость ширины кольца от величины снимаемого припуска

Используя известные эмпирические зависимости для усилий торцевого шлифования, из выражения (7) получена зависимость ширины шлифующего кольца от припуска, снимаемого этим кольцом (рис. 8). ГОСТ 2424-75 предусматривает наименьшую ширину кольца в 25 мм. Такой ширине соответ-

вует максимально допустимый припуск 0,3 мм. Эти данные соответствуют средним режимам шлифования, $V_{кр} = 25$ м/с; $V_0 = 6$ м/мин.

На базе этих исследований разработаны рекомендации по выбору количества шлифующих колец (табл.2).

Таблица 2

Выбор количества шлифующих колец

Общий припуск в мм до	0,6	2,0	свыше 2,0
Количество колец	2	3	более 3

Распределение рабочих функций шлифующих колец имеет целью, кроме управления теплонапряженностью процесса, обеспечение требований по шероховатости поверхности и точности обработки (рис.7). Эта задача решается распределением припуска по шлифующим кольцам и назначением абразивных характеристик каждого шлифующего кольца.

В результате учета влияния скорости круга и ее уменьшения для внутренних шлифующих колец получено, после расчета на ЭВМ предельных вариантов, распределение общего припуска по шлифующим кольцам (табл.3).

Таблица 3

Распределение общего снимаемого припуска по кольцам

Конструкция кольцевого ступенчатого круга				
Двухкольцевой		Трехкольцевой		
Процент общего припуска по кольцам		Процент общего припуска по кольцам		
I кольцо	II кольцо	I кольцо	II кольцо	III кольцо
30...40	40...60	20...30	30...40	35...55

Назначение характеристик шлифующих колец производится исходя из рабочих функций. В нормативных рекомендациях для черновой обработки предлагается применять зернистость 50...80. Для чистового шлифующего кольца размер зерна определяется по нормативным рекомендациям в соответствии с требуемой шероховатостью поверхности. Режущая способность мягких кругов выше по сравнению с твердыми. Поэтому твердость черновых колец выбирается в пределах М2...СМ1, чистовых - СМ1...СМ2. Остальные характеристики (вид абразивного материала, связка, структура круга) также выбираются по нормативным рекомендациям при учете специфических особенностей процесса шлифования кольцевыми ступенчатыми кругами.

Расчет конструктивных параметров кольцевых ступенчатых кругов имеет целью регулирование теплонапряженности процесса и обеспече-

ние тем самым качества поверхностных слоев детали. Преобразование решений (7) и (8) с учетом эмпирических зависимостей для сил, позволило получить следующие соотношения для размеров шлифующих колец

$$B_1 = \frac{U_{np}^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma \cdot V_a \cdot V_{kp}^2}{4\alpha \cdot C_p^2 \cdot V_{kp}^2 \cdot t^{2m} \cdot V_a^{2n} \cdot B^2}, \quad (9)$$

$$B_2 = \frac{V_a \cdot U_{np} \cdot \lambda \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\alpha}} + Q_0 \cdot \frac{B_{ix}}{V_a} \left(\frac{1}{\lambda} + 2h^2 \alpha \lambda - h \sqrt{\sigma \alpha} \right)}{2Q_1}, \quad (10)$$

где B_1, B_2 – ширина первого шлифующего кольца;
 B_{ix} – величина кольцевого зазора;
 V_a, V_{kp} – соответственно скорость детали и круга;
 C_p – коэффициент обрабатываемости стали;
 t – глубина резания (припуск);
 B – ширина детали.

Выражение (10) содержит параметр B_{ix} – величину кольцевого зазора между первым и вторым кольцами. Экспериментальное исследование темпа охлаждения в кольцевом зазоре показало, что для остывания поверхности детали до $40 \dots 70^\circ\text{C}$ необходимо время $0,2 \dots 0,5$ сек. Для применяемых скоростей движения детали это время соответствует величине кольцевого зазора $10 \dots 30$ мм. Аналогичное (9), (10) выражение построено для третьего шлифующего кольца.

Для проверки адекватности построенной модели проведено экспериментальное исследование, целью которого явилась проверка влияния ширины шлифующих колец и величины припуска на нагрев детали в зоне шлифования.

Удовлетворительное согласование расчетных кривых на рис.9 указывает на работоспособность построенной математической модели, позволяя использовать ее для проектирования кольцевых ступенчатых кругов.

Таким образом, методика проектирования кольцевых ступенчатых кругов имеет следующую структуру:

1. Определение количества шлифующих колец и разделение их функций (табл.2).
2. Распределение припусков по шлифующим кольцам (табл.3).
3. Назначение характеристики каждого шлифующего кольца по нормативным справочникам с учетом корректировки зернистости на последнем шлифующем кольце в зависимости от скорости резания и требуемой шероховатости прошлифованной поверхности.

4. Последовательный расчет конструктивных параметров каждого шлифующего кольца по формулам (9), (10).

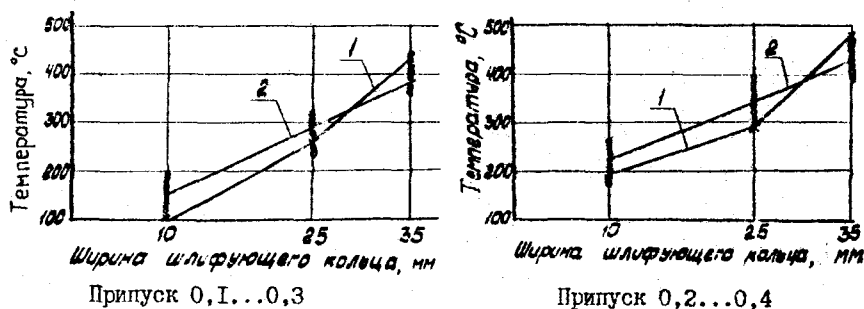


Рис.9. Адекватность модели для расчета кольцевого ступенчатого круга:
 1 - расчетная кривая; 2 - экспериментальные значения

VI. КОНСТРУКЦИИ КОЛЬЦЕВЫХ СТУПЕНЧАТЫХ КРУГОВ

Размеры существующих кругов формы ИК и их абразивные характеристики позволяют комплектовать сборные шлифовальные инструменты из двух и трех колец. Анализ возможных вариантов комплектования кольцевых ступенчатых кругов из колец формы ИК, изготавливаемых по ГОСТ 2424-75, а также их расчет по изложенной выше методике позволил разработать гамму конструкций кольцевых ступенчатых кругов, обеспечивающих требуемое качество шлифования закаленных деталей при сохранении высокой производительности (табл.4, показана часть таблицы).

VII. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Для проверки работоспособности разработанной методики проектирования кольцевых ступенчатых кругов проведен цикл сравнительных испытаний разработанных конструкций и традиционных применяемых кругов формы III. Испытания проводились в заводских условиях, и результаты их оценивались по требованиям чертежа.

На рис.10 приведены результаты совершенствования операции шлифования крестовины карданных валов на Гродненском заводе карданных валов.

Как видно из рис.10, применение кольцевых ступенчатых кругов обеспечивает устойчивое смещение центра рассеивания твердости шлифованных деталей в область более высоких значений до 60-62 ед. НРС. Также наблюдается значительное уменьшение величины рассеивания, то есть стабилизация качества шлифованной поверхности.

Таблица 4

Комплекты сборных кольцевых ступенчатых кругов (собираются из кругов-колец формы КК, изготавливаемых по ГОСТ 2424-75 и отраслевым нормалем ОН-24-65)

№ П.П.	Притуск		Характеристика кольца										Кольцевой зазор
	Общий	Для колец	Размер			Материал зерна	Зернистость	Твердость	Структура				
			D	B	d								
1	0,7...0,9	0,16...0,2 0,2...0,25 0,32...0,4	685	150	580	1А, 5С	125...16	М2...СМ1	6...8				
			500	150	380	2А, 6С	50...16	М3...СМ1					
			350	150	250	2А, 6С	50...16	М3...СМ1					
2	0,7...0,9	0,16...0,2 0,2...0,25 0,35...0,5	685	150	580	1А, 5С	125...16	М2...СМ1	6...8				
			500	150	380	2А, 6С	50...16	М3...СМ1					
			300	150	250	2А, 6С	50...16	М3...СМ1					
3	0,3...0,4	0,15...0,2 0,15...0,2	600	150	480	1А, 5С	100...16	М2...СМ1	6...8				
			450	150	250	2А	50...16	М3...СМ2					
4	0,3...0,5	0,15...0,2 0,15...0,2	600	150	480	1А, 5С	100...16	М2...СМ1	6...8				
			350	150	250	2А, 1А	50...16	М3...СМ1					
5	0,5...0,8	0,15...0,2 0,35...0,6	600	100	480	1А, 5С	100...16	М2...СМ1	6...8				
			300	100	250	2А, 1А	50...16	М3...СМ1					
6	0,5...1,0	0,15...0,2 0,35...0,8	600	100	480	1А, 5С	100...16	М2...СМ1	6...8				
			200	100	150	2А, 1А	50...16	М3...СМ1					
7	0,5...0,65	0,15...0,19 0,35...0,45	500	150	380	1А, 5С	100...16	М2...СМ1	6...8				
			350	150	280	2А, 1А	50...16	М3...СМ1					
8	0,5...0,7	0,15...0,19 0,35...0,5	500	150	380	1А, 5С	100...16	М2...СМ1	6...8				
			300	150	250	2А, 1А	50...16	М3...СМ1					

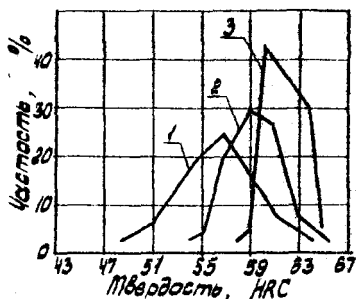


Рис.10. Распределение твердости торцов крестовин. Сталь 18ХТТ, припуск 0,5 мм:

1. Крут Ш 600x100x305 24А40СМБ;
2. Двухкольцевой крут без разделения рабочих функций 600x100x540 24А40СМБ, пр.0,25; 400x100x305 24А40СМБ, пр.0,25;
3. Двухкольцевой крут с разделением рабочих функций ТК 600x100x480 24А40МЗБ, пр.0,2; ТК 350x100x250 24А25СМБ, пр.0,3

На рис.11 показана эффективность применения кольцевых ступенчатых кругов при больших колебаниях припуска.

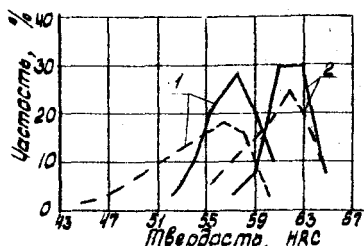


Рис.11. Распределение твердости торцов крестовин автомобиля МАЗ-500

— колебания припуска - 0,1 мм

- - - колебания припуска - 0,5 мм

1. Крут Ш 600x100x305 24А40СМБ (заводской вариант);
2. Трехкольцевой ступенчатый крут с разделением функций шлифующих колец 600x100x480 23А50МЗБ, пр.0,15 мм; 450x100x380 24А40МЗБ, пр.0,35 мм; 350x100x280 24А25СМБ, пр.0,5 мм

Вследствие интенсивного охлаждения детали, нагретой до высоких температур, при шлифовании могут образоваться слои вторичной закалки. С целью проверки надежности разработанных конструкций кольцевых ступенчатых кругов проведено исследование распределения твердости по глубине. Конечные результаты этих исследований приведены на рис.12.

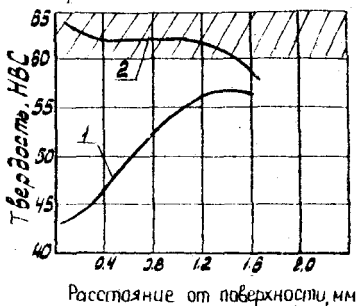


Рис.12. Изменение твердости по глубине шлифованной детали при обработке кругами разной конструкции:
1 - сплошными кругами;
2 - ступенчатыми кругами

УШ. ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одним из направлений внедрения результатов исследований является модернизация заводских технологических процессов.

На Гродненском заводе карданных валов произведена модернизация операции шлифования торцов крестовин автомобиля МАЗ-500, экономическая эффективность которой на одном станке составила 60 000 рублей в год.

Там же модернизирован технологический процесс шлифования торцов крестовин трактора К-700 и автомобиля ЗИЛ-131, экономический эффект составил 12 900 рублей в год.

На Чимкентском заводе карданных валов кольцевые ступенчатые круги внедрены при шлифовании торцов крестовин автомобиля ГАЗ-51 и ГАЗ-69. Внедрение кольцевых ступенчатых кругов на этих операциях дало экономический эффект 30 тыс. руб. в год.

Программа деталей, на которых внедрены кольцевые ступенчатые круги, исчисляется сотнями тысяч штук в год на каждом наименовании. Такая интенсивная эксплуатация уже на протяжении восьми лет показала хорошие эксплуатационные качества кольцевых ступенчатых кругов, надежность их конструкций и, следовательно, работоспособность предлагаемой методики их проектирования.

Апробация кольцевых ступенчатых кругов на миллионах деталей в течение восьми лет показала, что методика их проектирования вышла из стадии эксперимента и может быть рекомендована к использованию на предприятиях страны в качестве нормативного материала.

Нормативные рекомендации, разработанные на базе методики проектирования кольцевых ступенчатых кругов, включены в "Нормативы режимов резания для многокругового и фасонного шлифования", издаваемые в ВНИИОргстанкинпрома, а также в "Объемашинностроительные нормативы режимов резания и норм времени для технического нормирования работ на шлифовальных и доводочных станках".

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ АВТОРА:

1. Метод ступенчатого шлифования торцами кругов. В сб. "Прогрессивная технология чистовой обработки деталей машин". Челябинск, 1970, №79.

2. Шлифование плоскостей торцами кругов с распределением снимаемого припуска при одном проходе. Информационный листок Челябинского межотраслевого территориального центра научно-технической

информации и пропаганды. Челябинск, 1971. (В соавторстве с Ульянченко Г.Н., Василенко В.С. и Пашковой К.И.).

3. Исследование и внедрение двухстороннего торцового шлифования. В кн. "Теория и практика алмазной и абразивной обработки" по секции "Обработка материалов абразивными инструментами". Л., 1973.

4. Расчет конструктивных параметров круга по критерию допустимого нагрева детали при торцовом шлифовании. В сб. "Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки". Челябинск, 1974, №145. (В соавторстве с Кошиным А.А.).

5. Исследование и разработка технологического процесса обработки крестовин ГАЗ-69 и ГАЗ-51, обеспечивающего разноразмерность цапф по длине не более 0,05 мм и твердость торцов НРС 60. Челябинск, 1974. Регистрац. №75018773, инвент. №Б396930.

6. Снижение нагрева обрабатываемой детали путем применения ступенчатых шлифовальных кругов. В кн. "Прогрессивные методы шлифования". Челябинск, 1975. (В соавторстве с Кожемякиным Е.Ф. и Кошиным А.А.).