

Челябинский государственный технический университет

На правах рукописи

Фадеев Олег Станиславович

**РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ МЕТОДИКИ НАЗНАЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА ПО ТЕПЛОВОМУ ОГРАНИЧЕНИЮ
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИИ ШЛИФОВАНИЯ**

Специальность 05.02.08 - "Технология машиностроения"

**Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук**

Работа выполнена в Челябинском государственном техническом
университете

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор *С.Н. Корчак*

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор *Л.В. Худобин*

кандидат технических наук
зав. лаб. УралГосНИИМШ *В.В. Рабт*

Ведущее предприятие - Машиностроительное конструкторское
биро "Факел" (г. Химки, Моск. обл.)

Защита состоится "27" января 1993 г. в ___ часов, на за-
седании специализированного совета Д-053.13.05 по присужде-
нию ученой степени кандидата технических наук в Челябинском
государственном техническом университете по адресу:
454044, г. Челябинск, проспект имени *В.И. Ленина*, 76, ауд.244

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан "___" _____ 1992 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета Д-053.13.01
доктор экономических наук, профессор

 *Н.А. Боев*

Актуальность. Повышение производительности при обеспечении требуемого качества является одной из главных задач процесса шлифования. Одним из основных качественных показателей является образование прижогов. Путей обеспечения бесприжогового шлифования деталей известно достаточно много: это и управление режимами резания (подачей, скоростью детали и круга), и поиск приемлемых условий резания (например, за счет подбора подходящей технологической жидкости (ТЖ)), и, наконец, выбор рациональной характеристики круга (материала зерна, зернистости, твердости, структуры).

Теоретические предпосылки обеспечения бесприжогового шлифования с помощью режимов резания исследованы в трудах *А.И. Исаева, С.Г. Редько, Д.Г. Евсеева* и др. Школа проф. *Л.В. Худобина* имеет фундаментальные работы в области обеспечения качества за счет ТЖ. А вот по третьему направлению теоретических работ весьма мало, что сказывается на этапах проектирования нормативной наладки по машиностроительным нормативам: выбор характеристики круга в них подчинен обеспечению шероховатости, а расчет режимов резания учитывает только шероховатость и точность обработки. Учет бесприжоговости производится проверкой уже назначенных режимов по картам предельной мощности в зависимости от скорости детали и твердости круга. Если развиваемая мощность выше предельной, то дано указание корректировать операцию, но не уточняется чем и как. Это порождает субъективизм и необходимость в самодельных доработках при компьютерной реализации методики. Таким образом в нормативной методике неучтены такие технологические факторы управления как **зернистость, твердость и структура круга** в блоке проверочного расчета мощности и **зернистость, структура и подача** в блоке расчета предельно допустимой мощности.

С другой стороны *В.Д. Эльямова, С.С. Силин, В.А. Крульков* и др. приводят данные уменьшения брака из-за прижогов в 6,5 раз за счет подбора круга рациональной твердости. По данным Гродненского завода карданных валов замена круга при обработке крестовин на трехступенчатый с различными характеристиками ступеней уменьшает брак на 90%. Таким образом практикой шлифования доказано зачастую решающее влияние для обеспечения бесприжогового шлифования подбора кругов. Однако в нормативных рекомендациях этот фактор учитывается в слабой мере.

Поэтому разработка научно обоснованных рекомендаций по выбору характеристик абразивного инструмента для бесприжогового шлифования является актуальной задачей и определяет цель работы: разработка расчетной методики выбора характеристики шлифовального круга и режимов резания, обеспечивающих бесприжоговое шлифование деталей.

Основные задачи. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Разработана модель взаимосвязи параметров характеристики круга (зернистости, твердости, структуры) с числом зерен на поверхности инструмента, расстоянием между центрами зерен, числом мостиков связки, их поперечным размером и длиной, а также с параметрами силового взаимодействия круга и детали (количеством режущих зерен, распределением их по глубине, размером площадок затупления режущих абразивных зерен и т.д.).
2. Установлена функциональная связь между характеристикой шлифовального круга, режимами резания и температурным полем детали.
3. Разработана расчетная методика выбора характеристики шлифовального круга и режимов резания по тепловому ограничению процесса шлифования.
4. Разработаны нормативные таблицы, а также алгоритмы и программы для систем автоматизированного проектирования шлифовальных операций по тепловому ограничению.

Научная новизна. 1. Используя аппарат теории упаковок, применяемый в кристаллографии, создана геометрическая модель строения шлифовального круга и установлена взаимосвязь характеристики круга с параметрами силового взаимодействия круга и детали.

2. Разработана методика расчетного определения фактически режущих зерен в зависимости от характеристики круга и режимов резания, а также предельного размера площадок затупления зерен, определяющего начало осыпания шлифовального круга.

3. Впервые разработана теплофизическая модель процесса шлифования, учитывающая характеристику круга и режимы резания.

4. Разработана методика расчета предельной бесприжоговой подачи, которая позволила усовершенствовать нормативную методику и проводить бескоррекционный расчет режимов резания.

Практическая ценность. 1. Разработаны нормативные карты выбора характеристик шлифовальных кругов и режимов резания по усло-

вию бесприжоговой обработки для групп обрабатываемости сталей и сплавов, приведенных в существующих нормативах.

2. Создана программа выбора характеристик кругов и режимов бесприжогового шлифования в автоматизированной системе проектирования "НОРМА", принятой к эксплуатации на предприятиях: автоматомеханический завод (г. Челябинск), завод "Теплоприбор" (г. Челябинск), Кусинский машиностроительный завод (г. Куса), Верхнегорский механический завод (г. Нижний Тагил) и др.

Реализация результатов. 1. По разработанной расчетной методике назначения характеристик шлифовальных кругов для обеспечения бесприжоговой обработки выполняется проектирование операций шлифования на предприятиях:

- Машиностроительное конструкторское бюро "Факел" (г. Химки, Моск. обл.) с годовым экономическим эффектом 72000р.;
- Ленинградское объединение арендаторов "Измерон" (13209р.);
- Ставропольский инструментальный завод (95602р.).

2. По заказу Центрального бюро нормативов по труду при Госкомтруда СССР разработана система автоматизированного проектирования операций механической обработки "НОРМА".

3. Материалы работы использовались при разработке общемашиностроительных нормативов времени для технического нормирования работ на шлифовальных и доводочных станках, а также на шлифовальных станках с автоматическим циклом.

Апробация работы. Результаты исследований по теме диссертации докладывались на научно-технических конференциях в Челябинском государственном техническом университете с 1986 по 1992гг., в ЦБНТ в 1990г. при защите системы "НОРМА" и на научно-техническом семинаре "Механика и технология машиностроения" в г.Свердловске в 1990г.

По теме диссертации опубликовано 10 работ, в том числе 7 статей, общемашиностроительные нормативы времени для технического нормирования работ на шлифовальные и доводочные станки и руководство по эксплуатации системы "НОРМА".

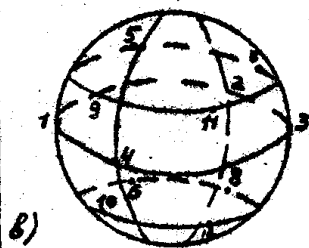
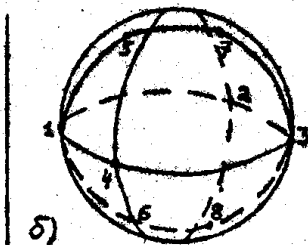
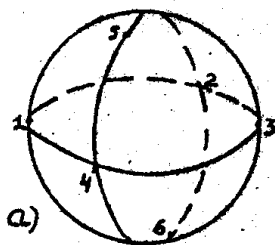
Структура и объем работы. Работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы из 209 наименований. Диссертация изложена на 166 страницах машинописного текста, в том числе содержит 40 рисунков и 32 таблицы. Работа имеет три приложения.

РАЗРАБОТКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТРОЕНИЯ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА

Необходимость учета функциональных связей между температурой шлифования и характеристикой круга делает важной разработку геометрической модели строения шлифовального круга, которая позволит определить количество мостиков связки на абразивное зерно, размер мостика, количество зерен на поверхности инструмента и установить расчетную связь этих параметров с традиционными показателями характеристики круга: зернистостью, твердостью и структурой. Как показано в диссертации для оценки таких интегральных показателей можно принять идеализированную форму элементов строения круга: абразивное зерно в виде шара диаметром d_z , а мостик связки - в виде цилиндра.

Н.Н. Васильев, исходя из технологии изготовления абразивных кругов показал, что строение круга может быть сведено к 6-и видам упаковок: 3-м кубическим и 3-м гексагональным (рис.1). Для каждого вида им рассчитан объем зерен W_z в единице объема круга. Б.Н. Делоне для устойчивых состояний упаковок нашел количество контактных точек зерен со смежными (эти точки выделены на рис. 1). Со-

КУБИЧЕСКИЕ



ГЕКСАГОНАЛЬНЫЕ

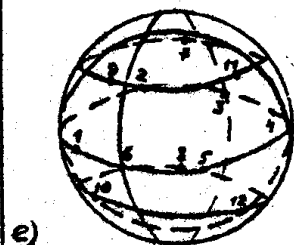
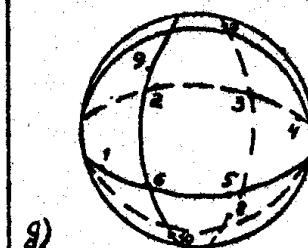
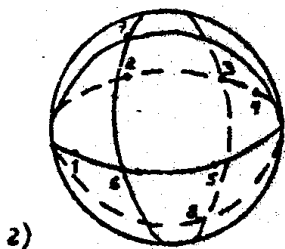


Рис.1. Виды упаковок

Таблица 1

Характеристика различных видов упаковок

Упаковка	1а	1б	1в	1г	1д	1е
Доля зерен, W_z	0.5236	0.5937	0.7405	0.5937	0.6726	0.7405
Количество контактных точек, n_k	6	8	12	8	10	12

поставление этих результатов показало, что существует взаимно-однозначное соответствие между объемным содержанием зерен и количеством контактных точек зерна со смежными зернами. Например, 59% зерен всегда соответствует 8 контактов, а 74% - 12 (см. табл.1).

Построенный нами график соответствующей зависимости (рис. 2) показывает ее линейный характер. С другой стороны W_z характеризуется стандартным показателем характеристики круга - структурой круга. Совмещение структуры с графиком показывает, что график работает для закрытых структур кругов с 0-й (где $W_z=62\%$) по 4-ю ($W_z=54\%$). Средние (с 5-й по 8-ю) и открытые структуры (с 9-й по 12-ю), характеризуются еще меньшим объемным содержанием зерен (до 38%). Как показано Б.Н. Деломе количество контактов меньше 6-и в устойчивой упаковке быть не может. Поэтому уменьшение W_z приводит к единственно возможному варианту: зерна перестают непосредственно касаться друг друга в контактных точках и разносятся друг от

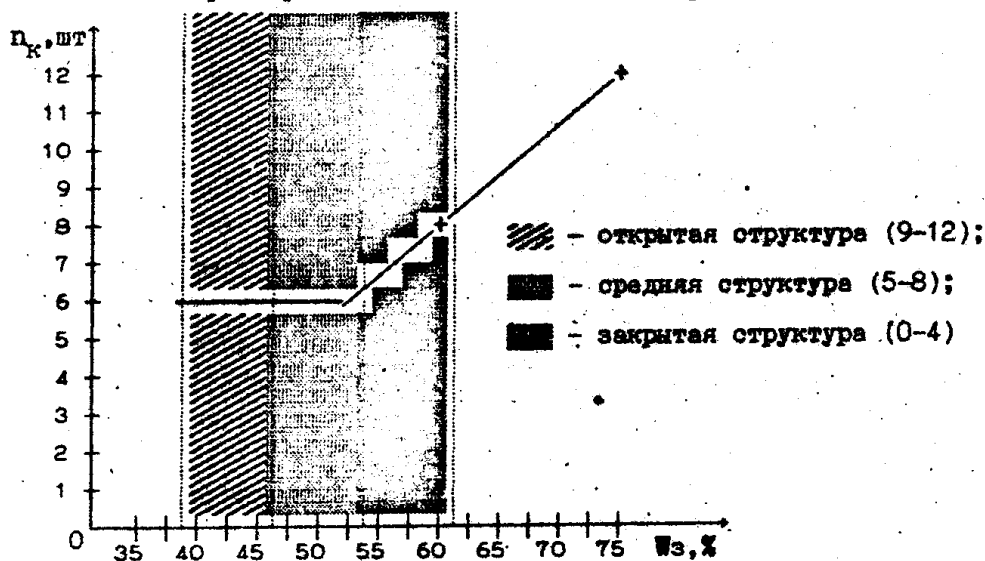


Рис.2. Соответствие между структурой кругов и упаковками.

друга на некоторое расстояние r , которое тем больше, чем меньше W_3 , т.е. чем больше структура круга

$$r = \begin{cases} d_3 \left(\sqrt[3]{\frac{\pi}{6 \cdot W_3}} - 1 \right), & \text{структура круга} > 4, \\ 0, & \text{структура круга} \leq 4. \end{cases}$$

При этом свободное пространство между зернами заполняется связкой и на месте контактных точек образуется мостик связки.

С.Г. Редько, В.Н. Любодуров, В.Н. Бакуль и др. допускают равномерное расположение связки вокруг зерна. Тогда, толщина слоя связки H вокруг зерна составит:

$$H = \frac{d_3}{2} \cdot \left[\sqrt[3]{\frac{k \cdot W_c + W_3}{W_3}} - 1 \right].$$

При прессовании связка выдавливается и после обжига образуется цилиндрический мостик связки радиуса R (рис.3), который определяется в зависимости от среднего размера абразивного зерна d_3 , объемного содержания зерен W_3 и связки $k \cdot W_c$

$$R = \sqrt{(h+H)(d_3+H-h)},$$

где k - коэффициент уменьшения объема связки при обжиге (по М.Г. Эфросу и В.С. Миронок $k=0.93-0.95$), а h находится из уравнения

$$h^3 + c_1 \cdot h^2 + c_2 \cdot h + c_3 = 0;$$

$$c_1 = \frac{3}{4} \cdot (d_3 - r); \quad c_2 = -\frac{3}{4} \cdot r(H + d_3 - r/2);$$

$$c_3 = -\frac{3}{16} \cdot r^2 \left(2 \cdot H + d_3 \frac{2 \cdot r}{3} \right) + \frac{(H - r/2)^2}{4} (3 \cdot d_3 + 4 \cdot H + r).$$

Полученные зависимости позволяют рассчитать размер мостика связки для разных зернистостей, твердостей и структур кругов. Установлено, что изменение зернистости на одну ступень эквивалентно изменению твердости на 3 ступени, а изменение структуры в диапазоне с 5-й по 9-ю влияет меньше изменения твердости на 1 ступень.

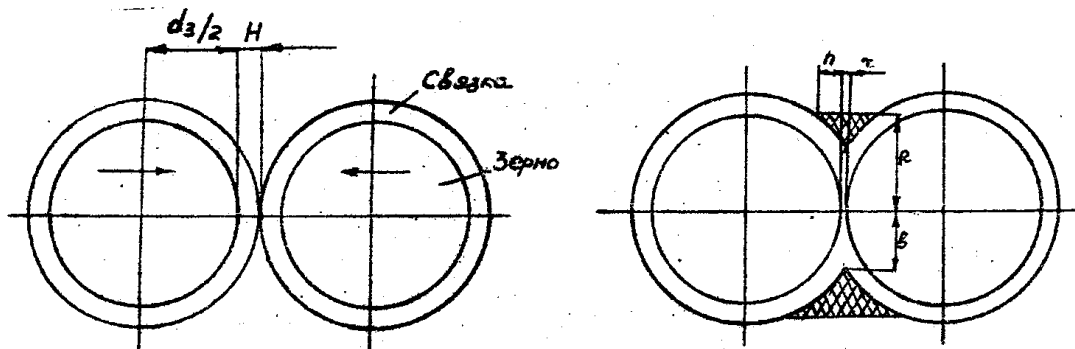


Рис.3. Схема образования мостика связки

Определение критической по прочности удержания связкой
площадки затупления абразивных зерен шлифовального круга

Поскольку зерна скреплены мостиками связки, а прочность абразивного зерна в 7-10 раз больше прочности связки, то оснпа-емость круга зависит преимущественно от прочности мостика. Сило-вое воздействие на мостик оказывают силы резания, действующие на режущие зерна. При определенном значении силы резания мостик связки разрушится и абразивное зерно под действием центробежных сил удалится с рабочей поверхности круга.

Исследования А.В. Королева и Д.К. Новоселова показали, что критическими для мостика являются напряжения сжатия $\sigma_{сж}$ под дей-ствием нормальной составляющей силы резания P_H . Сила, разрушающая мостик, равна произведению поперечной площади мостика связки на критическое напряжение сжатия $\sigma_{сж}$ (рис.4). С учетом формулы С.Н. Корчака для P_H единичным зерном, получаем выражение для предель-ного размера площадки затупления l_3 , который зависит как от режи-мов резания (через глубину резания зерном a_z), так и от характе-ристики круга (через диаметр мостика связки $D_M = 2 \cdot R$)

$$l_3 = \sqrt{(A_y \cdot a_z)^2 + \frac{\sigma_{сж} \cdot \pi \cdot D_M^2 \sqrt{3}}{2 \cdot \sigma_1}} - A_y \cdot a_z ; A_y = \frac{\sqrt{3.25} \cdot \sin(\beta)}{\sin(\beta_1)} \quad (1)$$

где σ_1 - интенсивность напряженного состояния металла, β_1 - угол сдвига, $\text{tg}(\beta_1 + \beta) = \frac{\pi}{2}$.

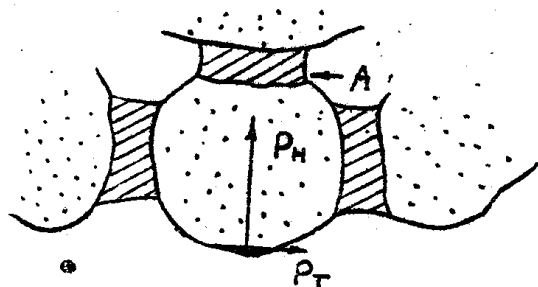


Рис.4. Схема разрушения мостика связки

На графике приведены расчетные значения предельных площадок l_3 для кругов различной твердости, зернистости 40 и 25. Для оцен-ки достоверности этой модели были взяты исследования разных авто-ров по замерам l_3 и нанесены на расчетные значения. Оказалось, что для 25-й зернистости экспериментальные точки легли практичес-

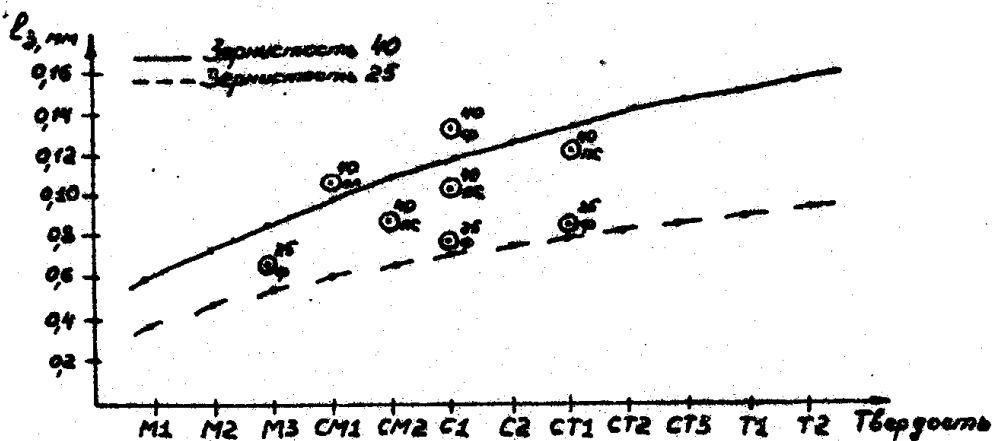


Рис.5. Расчетные и экспериментальные точки по определению предельных площадок l_3

ки непосредственно на кривую, а для 40-й рассеивание чуть больше, но все-таки они группируются вокруг расчетных с погрешностью 10-15%, что позволяет сделать заключение о достаточно удовлетворительной адекватности этой модели.

Теплофизическая модель шлифования, чувствительная к изменению характеристики круга и режимов резания

Для расчета температуры шлифования $T_{\text{пл}}$ применяют модели одной из двух схем теплообразования: модели сплошного или дискретного контакта. Первая предполагает, что источником теплообразования является геометрическая площадь контакта круга с деталью, а для управления обычно используются эмпирические зависимости между режимами резания и мощностью шлифования. В моделях дискретного контакта правильно отражается действительный контакт инструмента с заготовкой и учитывается, что тепло образуется при срезании режущими абразивными зёрнами стружки или при их трении по поверхности металла. Температурные модели этой схемы позволяют определять взаимное влияние на $T_{\text{пл}}$ тепловых импульсов от множества зёрен, интенсивность напряжённого состояния металла σ_1 , а также имеют в своем составе параметры, зависящие от геометрического строения круга: количество и длительность тепловых импульсов зависят от количества режущих зёрен и характеристики круга, размер площадок затупления l_3 определяется зернистостью и твердостью инструмента и т.д. Это позволяет доработать теплофизическую модель дискретного контакта таким образом, чтобы можно было определять

$T_{\text{шл}}$ В зависимости как от режимов резания, так и от характеристики и степени затупления круга.

Для решения такой задачи использована температурная модель дискретного контакта, применяемая ранее С.Н. Корчаком, А.А. Кошлыма, В.И. Ключко и др. при исследовании обрабатываемости сталей шлифованием, изучении влияния режимов резания на температурное поле детали, определении областей применимости различных расчетных схем в теплофизике шлифования и в др. исследованиях:

$$U(x, \tau) = U_0 + \frac{2}{\sqrt{\rho}} \sum_{i=1}^n \left[\frac{q_1(U_i)}{\sqrt{\lambda_1(U_i) \cdot c_1(U_i)}} \cdot \left[\sqrt{t - T_1} \cdot \operatorname{ierfc} \left(\frac{x}{\sqrt{4a_1(U_i)(t - T_1)}} \right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \operatorname{H}(t - T_1) - \sqrt{(t - \tau_1 - T_1)} \cdot \operatorname{ierfc} \left(\frac{x}{\sqrt{4a_1(U_i)(t - \tau_1 - T_1)}} \right) \cdot \operatorname{H}(t - \tau_1 - T_1) \right] \right], \quad (2)$$

где $q_1(U_1)$ - удельная интенсивность i -го источника для температуры самоподогрева U_1 ; $\lambda_1(U_1)$, $c_1(U_1)$, $a_1(U_1) = \frac{\lambda_1(U_1)}{c_1(U_1) \cdot \rho}$ - теплофизические характеристики металла к моменту начала действия i -го источника; T_1 - момент начала действия i -го источника; τ_1 - длительность i -го импульса; t - текущее время; n - общее количество температурных импульсов; $\operatorname{H}(x)$ - единичная функция Хэвисайда.

Методика учета теплофизических характеристик и расчет q_1 и τ_1 предложены ранее в работах С.Н. Корчака. Однако для n , a_z и l_z использовались среднестатистические оценки для условий шлифования. А поскольку эти параметры применяются для определения q_1 и τ_1 , то это означает, что доработку теплофизической модели (2) необходимо произвести, выявив связь n , q_1 и τ_1 с характеристикой круга и режимами резания.

Удельная интенсивность тепловых источников - абразивных зерен шлифовального круга находилась по методике С.Н. Корчака суммированием тепла из зон деформации и трения под площадкой затупления режущего абразивного зерна, а также с учетом того, что в тепловом балансе около 80% составляет теплопровод в деталь. В итоге получаем

$$q_1 = \frac{k(V_k + V_d) \left[\frac{\sqrt{3.25 \cdot \cos \beta}}{\sin \beta_1} \cdot a_{z1} + 0.5 \cdot \mu_{z1} \right] \cdot \sigma_1}{\left[\frac{a_{z1}}{\sin \beta_1} + l_{z1} \right] \cdot \sqrt{3}}, \quad (3)$$

где $k=0.8$ - доля тепла, переходящего в деталь; μ - коэффициент трения вершины абразивного зерна о металл; a_{z1} - глубина резания для 1-го источника; l_{z1} - размер площадки затупления. Используя формулу (3), можно рассчитать интенсивности тепловых источников с учетом разновысотного положения режущих абразивных зерен на рабочей поверхности шлифовального круга.

Длительность i -го теплового импульса

$$\tau_i = \frac{l_z(x_i) + a_{z1} \cdot \text{ctg} \beta_1}{1000 \cdot V_k}$$

Количество тепловых импульсов. Тепловые импульсы создаются режущими абразивными зернами. В силу разновысотного положения вершин абразивных зерен на рабочей поверхности круга (РПК) часть из них не примет участия в процессе резания, поскольку будет лежать выше зоны резания, другая часть будет перекрыта соседними зернами и попадет на уже срезанные участки поверхности. Таким образом, действительное количество режущих зерен значительно меньше номинального и зависит от рельефа РПК и режимов шлифования.

Установлено, что комплексный параметр рельефа (КПР) РПК, предложенный А.В. Жученко

$$S(x) = n(x) \cdot b(x), \quad (4)$$

где x - уровень сечения рельефа РПК, $n(x)$ - количество вершин зерен на единице поверхности на уровне x , $b(x)$ - средняя ширина выступов на уровне x , изменяется линейно:

$$S(x) = C \cdot x \quad (5)$$

Это подтверждается экспериментальными данными А.С. Попова, Л.С. Соколовой, Р.В. Ананьяна, В.И. Пилинского, А.В. Жученко и др. Учитывая зависимость Л.Н. Филлонова и С.Г. Редько для ширины

$$b(x) = 2 \cdot \sqrt{d_z \cdot x},$$

где d_z - диаметр вершины зерна, получено выражение для количества абразивных зерен на единице поверхности РПК на уровне x

$$n(x) = 0.5 \cdot C \cdot \sqrt{\frac{x}{d_z}} \quad (6)$$

Пусть n_0 - число зерен на единице поверхности круга. Тогда, используя экспериментальные данные В.Д. Сильвестрова, В.И. Пилинского, С.Г. Редько, найдем выражение для C :

$$C = \begin{cases} 2 \cdot n_0 \sqrt{\frac{d_3}{0.1}} & - \text{ для обычных режимов правки;} \\ 2 \cdot n_0 \sqrt{\frac{d_3}{0.055}} & - \text{ для тонких режимов правки,} \end{cases}$$

Выражение (6) позволяет рассчитать количество зерен на единице поверхности круга $n(x)$ с учетом их разновысотности.

Для учета особенностей силового взаимодействия круга с деталью в процессе резания введем ряд коэффициентов. В соответствии с исследованиями Г.Б. Лурье и W. Wolfram вводится коэффициент перекрытия траекторий зерен по ширине $k_p = 0.4$. В соответствии с экспериментами И. Пекленки и С.Г. Редько вводится коэффициент влияния упругой деформации шлифовального круга k_T (см. табл.2). Окончательно зависимость для количества зерен примет вид

$$n(x) = k_{II} \cdot k_T \cdot n_0 \sqrt{x}, \quad (7)$$

где k_{II} - коэффициент правки

$$k_{II} = \begin{cases} 1.265 & - \text{ обычный режим правки;} \\ 1.706 & - \text{ тонкий режим правки.} \end{cases}$$

Таблица 2

Поправочный коэффициент на твердость круга k_T

ТВ.	M1	M2	M3	CM1	CM2	C1	C2	CT1	CT2	CT3	T1	T2
k_T	1.24	1.17	1.11	1.0	.935	.855	.826	.725	.633	.57	.496	.421

Выражение (7) позволяет найти количество режущих абразивных зерен на единице поверхности РПК на уровне сечения x .

Для определения количества тепловых импульсов, воздействующих на поверхность детали при прохождении ей дуги контакта, необходимо учитывать, что режущие зерна контактируют вершинами, имеющими площадки затупления размером l_3 , которая изменяется в зависимости от уровня сечения x и пути резания. Используя эти положения, найдем размер площадки затупления l_3 в зависимости от уровня x (рис.6):

$$l_3(x) = (l_{3\text{ш}} - l_{3\text{п}}) \cdot \sqrt{\frac{h-x}{h}} + l_{3\text{п}},$$

где h - глубина шлифования.

Координата уровня сечения для 1-го зерна - источника тепла определяется из выражения

$$x_i = \left[\frac{1}{k_{\text{п}} k_{\text{т}} n_0 L_{\text{рк}} l_{\text{з}} (x_{i-1})} + \sqrt{x_{i-1}} \right]^2, \quad i=1, \overline{n_3}, \quad x_0=0, \quad (8)$$

где $L_{\text{рк}}$ - длина развертки круга, а n_3 - общее количество зерен, которое можно найти из условия

$$x_{n_3-1} \leq h \leq x_{n_3} \quad (9)$$

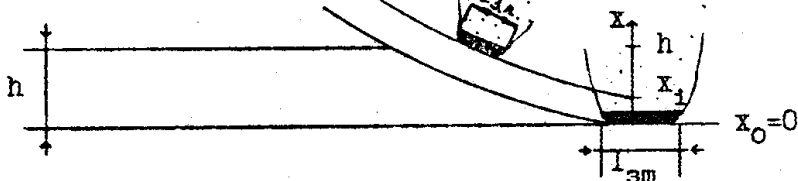


Рис.6. Расположение минимальной $l_{\text{зп}}$ и максимальной $l_{\text{зш}}$ площадок затупления зерен в зоне шлифования

Таким образом, формулы (8) и (9) позволяют найти общее количество режущих зерен n_3 и их распределение по глубине шлифования h . Однако формула (9) определяет количество режущих зерен n_3 без учета кинематики шлифования. Из кинематики плоского и круглого шлифования найдено неравенство для определения количества тепловых импульсов $(n_3 - i_{\text{ф}})$, где

$$i_{\text{ф}} \leq n_3 \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{h - x_1}{h}} \right], \quad i=1, \overline{n_3}.$$

Это неравенство позволяет найти номер режущего зерна $i_{\text{ф}}$, начиная с которого будет происходить резание. Все режущие зерна, лежащие выше (имеющие меньший номер, чем $i_{\text{ф}}$), фактически не будут являться режущими, поскольку их траектории движения не пересекаются со срезанной предыдущими зернами поверхностью детали. Таким образом, если h - некоторая глубина шлифования, то с поверхностью детали будут фактически взаимодействовать абразивные зерна, лежащие в глубине круга на расстоянии, меньшем h . Этот вывод, согласуется с результатами опытов С.А. Полова и Р.В. Аномьяма.

Глубина резания единичным зерном. Находится как максимальное расстояние между траекториями смежных режущих абразивных зерен. Это позволяет учесть кинематику взаимного движения детали и круга, а также особенности отдельных видов шлифования. Для условий круглого шлифования выведено следующее выражение:

$$a_{zi} = \begin{cases} x_{i-1} - x_i + 0.5 \cdot \left\{ \sqrt{D_d^2 - 4 \cdot x_0^2} + \sqrt{D_k^2 - 4 \cdot x_0^2} - D_k - D_d + 2 \cdot h \right\}, \\ \quad n_3 \geq 1 > 1_\phi, \quad x_0 = \sqrt{\frac{D_k \cdot D_d \cdot h}{D_k + D_d}} \cdot \left(1 - \frac{1_\phi}{n_3} \right) \\ 0.5 \cdot \left\{ \sqrt{D_d^2 - 4 \cdot x_{0i\phi}^2} + \sqrt{D_k^2 - 4 \cdot x_{0i\phi}^2} - D_k - D_d + 2 \cdot h \right\}, \quad i = 1_\phi, \\ \quad x_{0i\phi} = \sqrt{\frac{D_k \cdot D_d \cdot h}{D_k + D_d}} \cdot \left(1 - \frac{1_\phi}{n_3} \right) \end{cases}$$

Для условий плоского шлифования

$$a_{zi} = \begin{cases} x_{i-1} - x_i + \frac{2}{n_3} \cdot \sqrt{h \cdot (h - x_{i-1})} - \frac{h}{n_3^2}, \quad n_3 \geq 1 > 1_\phi \\ \frac{h \cdot 1_\phi}{n_3} \cdot \left(2 - \frac{1_\phi}{n_3} \right) - x_{1_\phi}, \quad i = 1_\phi \end{cases}$$

Таким образом, найденные зависимости для n и a_{zi} позволяют дополнить теплофизическую модель и сделать ее чувствительной к изменению характеристики шлифовального круга и режимов резания.

Для экспериментальной проверки найденных зависимостей создана опытная установка, позволяющая по количеству стружек, собранных с длины дуги контакта, оценивать количество тепловых импульсов. Как видно на графике (рис.7а), расчетные и экспериментальные данные совпадают с точностью до 10%. Замеряя количество стружек, их толщину определяли под микроскопом. Обработывая полученные данные находили a_{zcp} , для которой на графике (рис.7б) приведено экспериментально найденное поле рассеивания минимального и максимального размеров, а также среднее расчетное значение, которое располагается в пределах поля.

Адекватность температурной модели проверялась экспериментальным путем на специальной установке. Тарировка полуискусственной хромелевой термопары проводилась в печи при температурах 20...1400°C. Термопара заделывалась в разъемную деталь, которая устанавливалась на оправку. Съем термо-ЭДС производился через ртутную камеру на шлейфовый осциллограф Н-117. Для экспериментов использовался круглошлифовальный станок 3А130.

Пример изменения экспериментальной и расчетной температуры на поверхности детали (ст.45, $D_d = 50$ мм, $S = 1$ мм/мин, $V_d = 20$ м/мин) в зависимости от зернистости круга ШИ 350х40х203 14А(16;40)С26К показан на рис.7в. Разница между расчетными и экспериментальными

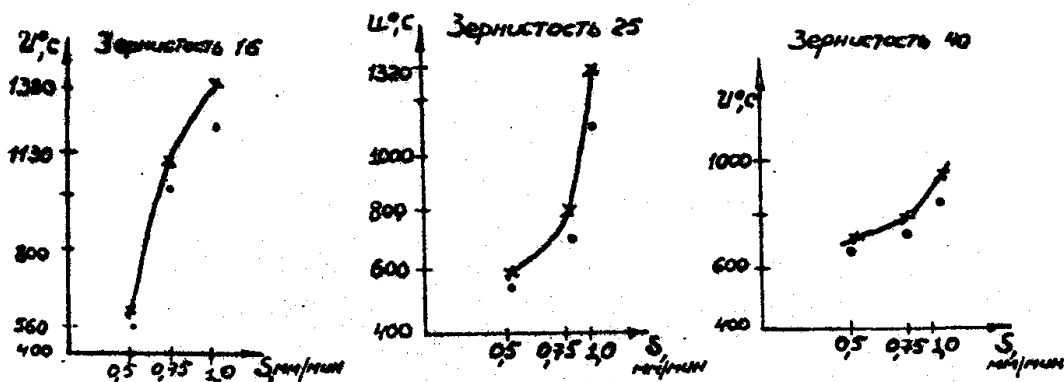


Рис. 7 Проверка адекватности температурной модели данными не превосходит 20%, что позволяет говорить о принципиальном соответствии расчетных моделей практике шлифования, а также дает возможность разработать расчетную методику выбора характеристики круга и режимов резания по тепловому ограничению.

Исследование чувствительности теплофизической модели к изменению характеристики круга и режимов шлифования

В диссертации произведен анализ степени влияния режимов резания и характеристики шлифовального круга на температурное поле поверхностных слоев детали. На рис.8 показаны результаты расчета температуры затупленными кругами различной твердости. Предельные размеры площадок l_3 вычислены по формуле (1). Видно, что максимальная температура U_{\max} у твердых кругов в момент осыпания всегда больше, чем у мягких (иногда в 2 раза), что подтверждается практикой шлифования и экспериментальными данными С.Г. Редько.

Расчет влияния зернистости круга на максимальную температуру показал, что температура практически всегда достигает большего значения при малых глубинах шлифования h (0.005–0.01мм) у крупнозернистых кругов и при больших глубинах h у мелкозернистых (более, чем на 100°C). Аналогичный вывод сделал С.Г. Редько.

Среди факторов, влияющих на температурное поле детали важное место занимает коэффициент трения μ . Л.В. Худобинья показана, что на коэффициент трения μ влияет технологическая жидкость (ТЖ). На рис.9 показано изменение температуры U_{\max} при работе без ТЖ и с различными видами ТЖ при плоском шлифовании стали 45, скорость

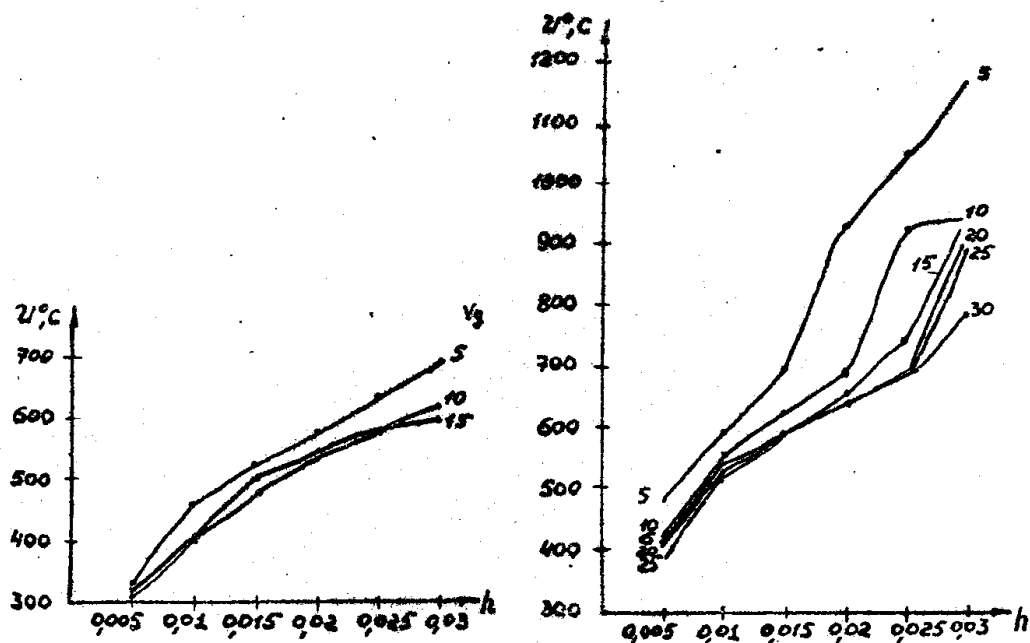


Рис.8. Максимальная температура U_{max} на глубине 0.01 мм от обрабатываемой поверхности при различной глубине шлифования h и скоростях детали V_d для условий осыпания круга в зависимости от характеристики круга при шлифовании стали 45:
 а) 40СМ27К; б) 40С17К

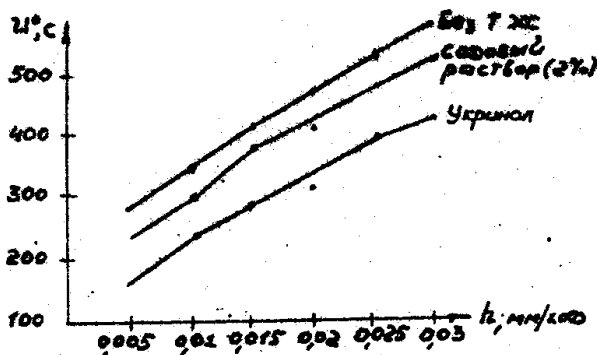


Рис.9. Влияние на максимальную температуру U_{max} вида ТЖ детали $V_d=10$ м/мин, круг 40СМ16К.

Результаты расчетов показали, что предлагаемая модель достаточно хорошо отражает известные из практики шлифования закономерности поведения температурного поля поверхностных слоев детали и может быть использована для создания расчетной методики назначения характеристик шлифовальных кругов по тепловому ограничению.

Методика расчета бесприжоговых режимов и выбора характеристик шлифовальных кругов

Анализ влияния различных факторов на теплонапряженность процесса шлифования, проведенный на основании результатов исследования, позволил оценить степень влияния каждого из них и выделить главные, через которые в первую очередь необходимо осуществлять управление:

- из параметров круга: твердость, зернистость и структура;
- из режимов шлифования: глубина шлифования за один проход h и скорость детали V_d (при постоянной скорости круга);
- из условий резания: вид технологической жидкости.

Поскольку используемая температурная модель является трансцендентной, то непосредственно разрешить ее относительно параметров управления не удастся и для проведения расчетов создана алгоритмическая модель, позволяющая находить для заданных значений технологических факторов бесприжоговую глубину шлифования h .

Оценка степени влияния отдельных технологических факторов на величину бесприжоговой h показывает, что колебание твердости может изменить ее в 1.5-2, зернистости - в 1.5, структуры - в 1.3, V_d - в 1.7 раза. Совокупное варьирование параметров характеристики круга может изменить бесприжоговую h более, чем в 4 раза.

Поэтому в результате расчетов по алгоритмической модели управления получена бесприжоговая h в зависимости от наиболее значимых факторов (табл. 3 и 4): группы обрабатываемости, твердости, зернистости и структуры круга. В силу монотонного влияния на температуру, скорость детали и вид ТК учтены коэффициентом.

Бескорреляционная нормативная методика выбора шлифовального круга и режимов резания

На основании табл. 3, 4 предложена бескорреляционная общая методика назначения режимов шлифования, обеспечивающая все требования к обрабатываемой поверхности: шероховатость, точность и отсутствие прижога. Для этого предлагается убрать из нормативов карты удельной бесприжоговой мощности и ввести карты удельной бесприжоговой подачи и поправочного коэффициента (типа табл. 3 и 4). Тогда расчет режимов может быть произведен следующим образом:

1. Определить рекомендуемую характеристику круга для обеспече-

Таблица 3

Номограмма расчета беспривоковой глубины шлифования h_g , м/год

Группа обрабатываемости							Структура	Зернистость				
I	II	III	IV	V	VI	VII		≤ 7	40	25	16	
							> 7	40	25	16		
Т В В Р Д О С Т Ь		M2							0.081	0.072	0.066	0.059
		CM1							0.074	0.066	0.060	0.053
		C1							0.067	0.060	0.054	0.048
		M2	C2						0.061	0.054	0.049	0.044
		CM1	CT1						0.055	0.049	0.045	0.040
		C1	T1						0.051	0.045	0.041	0.037
		C2		M2					0.046	0.041	0.037	0.033
		CT1		CM1					0.041	0.037	0.033	0.030
		T1		C1					0.038	0.034	0.031	0.027
				C2					0.035	0.031	0.028	0.025
				CT1		M2			0.031	0.028	0.025	0.022
				T1		CM1			0.029	0.026	0.023	0.021
					M2	C1			0.026	0.023	0.021	0.019
					CM1	C2			0.023	0.021	0.019	0.017
					C1	CT1			0.022	0.019	0.017	0.016
					CT1	T1			0.020	0.017	0.016	0.014
		M2		T1	M2			0.017	0.016	0.014	0.012	
		CM1			CM1			0.016	0.014	0.013	0.012	
		C1			C1			0.015	0.013	0.012	0.011	
		CT1			CT1			0.014	0.012	0.011	0.010	
		T1			T1			0.013	0.011	0.010	0.009	

Таблица 4

Поправочный коэффициент для h_g по скорости
и условиям охлаждения детали

ТЖ	V_d	5	10	15	30
Без СОЖ		0.68	0.85	0.94	1.0
Содовый р-р 2%		0.8	1.0	1.1	1.2
Укринол		1.0	1.24	1.36	1.5

чения шероховатости обрабатываемой поверхности.

2. Назначить подачи по требованию к точности и шероховатости.
3. Определить бесприжоговую подачу.
4. Минимальную из 2-х найденных подач принять в качестве рабочей.

Такой метод устраняет необходимость коррекции, которая присутствует в нормативной методике и ликвидирует субъективный подход в определении режимов. Предлагаемая нормативная методика естественным образом преобразуется в алгоритм для компьютерных систем проектирования шлифовальных операций, в котором нет необходимости корректировать операцию в момент расчета режимов резания.

Проверка эффективности предлагаемой расчетной методики показала, что производительность операции может быть выше на 10-30%, если учесть параметры характеристики круга.

Таким образом, предлагаемая по модели бесприжогового шлифования расчетная методика позволяет назначать рациональную характеристику шлифовального круга и расчетные величины режимов шлифования, удовлетворяющие ограничениям по шероховатости, точности и бесприжоговости обработки, а также для любой характеристики круга находить бесприжоговые режимы резания.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана геометрическая модель строения шлифовального круга, позволяющая оценить предельный размер площадок затупления l_3 в зависимости от характеристики круга и режимов резания.
2. На основании теоретических и экспериментальных исследований дополнена теплофизическая модель температурного поля поверхностных слоев детали при шлифовании, параметрами управления в которой являются элементы характеристики шлифовального круга (зернистость, твердость, структура), режимы резания и марки ТХ.
3. Разработана методика выбора характеристики шлифовального круга, режимов шлифования и технологической жидкости для обеспечения бесприжогового шлифования, пригодная как для построения нормативных таблиц, так и для автоматизированного выбора характеристик кругов и режимов резания на ЭВМ.
4. Разработан алгоритм и программа расчета режимов резания и выбора характеристики шлифовальных кругов для бесприжогового шлифования в автоматизированной системе проектирования "НОРМА".
5. Методика внедрена на 3-х предприятиях с общим экономическим эффектом более 180 тыс. руб. в год, а также использована при

расчете режимов шлифования в общемашиностроительных нормативах режимов резания.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Фадюшин О.С. Анализ распределения тепла при шлифовании // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки; Сб. научных трудов.- Челябинск: ЧПИ, 1986.

2. Фадюшин О.С. Моделирование температурного поля при торце-круглошлифовании// Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки; Сб. научных трудов.-Челябинск: ЧПИ, 1988.

3. Фадюшин О.С. Стохастическая модель теплофизики шлифования с учетом температурно-скоростных изменений прочностных свойств обрабатываемых сталей и сплавов: Тезисы докладов научно-технического семинара "Механика и технология машиностроения", Свердловск, 1990.

4. Фадюшин О.С. Установка для экспериментального определения количества режущих абразивных зерен при шлифовании// Депонировано в ВНИИТЭМР, N77MШ92

5. Фадюшин О.С. Теоретическое определение количества режущих абразивных зерен// Депонировано в ВНИИТЭМР, N79MШ92

6. Фадюшин О.С. Геометрическая модель внутреннего строения шлифовального круга// Депонировано в ВНИИТЭМР, N78MШ92

7. Кулыгин В.А., Исаков В.Н., Рассказов В.Н., Фадюшин О.С. Управление режимными параметрами абразивной обработки на стадии проектирования технологического процесса//Алмазная и абразивная обработка деталей машин и инструмента: Межвузовский сб. научных трудов, Пенза, 1989.- Вып. 17.

8. Общемашиностроительные нормативы режимов резания на шлифовальных станках. Станки с автоматическим циклом.- М.: Экономика, (в печати).

9. Общемашиностроительные нормативы времени для технического нормирования работ на шлифовальных и доводочных станках. - М.: Экономика, 1989.

10. Общемашиностроительная система автоматизированного нормирования и проектирования операций, выполняемых на металлорежущих станках. (Пакет прикладных программ "НОРМА-1"). Крупносерийное и среднесерийное производство. Руководство по эксплуатации. - М.: Экономика, 1990.