

05.02.08 (043)

П 27

Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

ПЕРЕВЕРЗЕВ ПАВЕЛ ПЕТРОВИЧ

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ
ОПЕРАЦИЙ ШЛИФОВАНИЯ С ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ЗАТУШЕНИЯ
КРУГОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ АБРАЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Специальность № 05.02.08 - "Технология машиностроения"

Автореферат
диссертации на соискание
ученой степени кандидата
технических наук

Челябинск
1981

Работа выполнена в Челябинском политехническом институте
имени Ленинского комсомола.

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

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Л.В.ХУДОВИН,
кандидат технических наук
Л.Н.ЦЕЙТЛИН

Ведущее предприятие - Камский автомобильный завод.

Защита состоится 26 июня 1981 г., в _____ часов, на заседании
специализированного совета К-053.13.01 по присуждению ученой сте-
пени кандидата технических наук в Челябинском политехническом инсти-
туте имени Ленинского комсомола по адресу: 454044, г.Челябинск,
проспект имени В.И.Ленина, 76, ауд.244.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1981 г.

Ученый секретарь
специализированного совета К 053.13.01
кандидат технических наук

3-151
 В.М.Меньшаков

Актуальность работы. Производительность операций шлифования и качество обработки деталей во многом определяются интенсивностью затупления режущих зерен кругов при применении режимов резания, не вызывающих осыпания зерен, т.е. самозатачивания кругов.

Круги, изготовленные из различных абразивных материалов, имеют неодинаковую интенсивность затупления режущих зерен, связанную с образованием на них площадок затупления. Повышенная интенсивность затупления зерен круга способствует ускоренному росту сил резания в процессе шлифования и снижению качества обработки деталей.

С целью повышения эффективности операций шлифования, абразивной промышленностью проводится большая работа по разработке и освоению выпуска кругов из новых, более износостойких абразивных материалов. Так, за последние годы абразивная промышленность освоила выпуск кругов из электрокорундов, легированных окислами хрома, титана и циркония, новую технологию непрерывной разливки расплава электрокорунда в валках-кристаллизаторах (прокатанные электрокорунды), изготовление зерен управляемой формы (формокорунд). Однако должного распространения в машиностроении эти новые материалы пока не имеют.

Одна из причин этого состоит в том, что количественные закономерности затупления зерен кругов из разных абразивных материалов изучены недостаточно, что не позволяет машиностроительным заводам-потребителям кругов оценить эффективность применения тех или иных абразивных материалов и обоснованно управлять производительностью шлифования и качеством обработки.

Отсутствие аналитических методик расчетного изменения выходных показателей операции шлифования (особенно производительности), при изменении интенсивности затупления зерен, обуславливает отсутствие в нормативах по выбору характеристики кругов и режимов шлифования количественных данных, учитывающих влияние разных марок электрокорундов на режимы и производительность обработки. Это приводит к тому, что на стадиях проектирования операций шлифования не учитываются большие резервы роста производительности и качества обработки деталей, связанные с применением новых износостойких электрокорундов, таких, например, как легированных окислами хрома и титана.

Цель работы. Исследование интенсивности затупления шлифовальных кругов, изготовленных из различных абразивных материалов, и разработка аналитической методики количественной оценки изменения производительности и точности операций шлифования, с изменением износостойкости абразивных зерен.

Основные задачи. 1. Установить теоретическую и количественную взаимосвязь между производительностью операции шлифования и затуплением зерен круга, с учетом точности и других технологических факторов качества обработки деталей, и на этой основе разработать инженерную методику расчетов производительности операции.

2. Экспериментально исследовать сравнительное влияние затупления зерен, изготовленных из традиционного белого электрокорунда марки 24А и нового хромтитанистого электрокорунда марки 91А, на производительность и точность шлифования.

3. В производственных условиях выполнить проверку и внедрение теоретических и экспериментальных результатов исследований.

Научная новизна. Получены аналитические модели, устанавливающие количественную взаимосвязь между производительностью операций шлифования и степенью затупления зерен шлифовального круга. Модели получены на базе использования закона механики о равенстве активных сил (сил резания), и реактивных сил (сил сопротивления обрабатываемого металла), и основных законов теории пластичности.

Получены экспериментальные данные по прочностным свойствам в реальных условиях шлифования и износостойкости зерен, изготовленных из разных абразивных материалов, и её влиянию на производительность шлифования.

Практическая ценность работы. На основе проведенных исследований разработана для практического использования методика формирования цикла операции круглого врезного шлифования, учитывающая изменение производительности и точности обработки деталей, с изменением затупления зерен и других технологических факторов, влияющих на силы резания.

Разработанные аналитические зависимости позволяют на стадии проектирования операции оценить ожидаемую производительность обработки и погрешность размера динамической настройки деталей, с изменением затупления зерен кругов или других факторов.

Определена величина коррекции подачи при замене кругов из традиционного абразивного материала марки 24А на круги из нового материала - хромтитанистого электрокорунда марки 91А.

Реализация работы. На основе проведенных исследований разработаны и внедрены на Волжском автомобильном заводе руководящие технические материалы по проектированию автоматического цикла операций круглого врезного шлифования, учитывающие применение кругов из зерен разной износостойкости.

Внедрение шлифовальных кругов, изготовленных из нового абразивного материала – хромтитанистого электрокорунда (ЭТА), взамен кругов из дефицитного белого электрокорунда (24А), на 49 операциях Волжского и Камского автомобильных заводов дало экономический эффект 153,4 тыс.руб.

Результаты исследований также применены для разработки алгоритмов и программ расчетов на ЭВМ (СМ-1) режимов резания и норм основного времени. Программы используются во Всесоюзном научно-исследовательском институте абразивов и шлифования (экономический эффект 106,6 тыс.руб.).

Апробация работы. Диссертационная работа в целом и отдельные её положения доложены и обсуждены на:

1. Первом Всесоюзном научно-техническом семинаре "Оптимизация условий эксплуатации и выбора характеристик абразивного инструмента в машиностроении". Челябинск, 1978г.

2. Всесоюзной научно-технической конференции "Прогрессивные методы абразивной, алмазной и эльборной обработки в машиностроении". Полтава, 1979г.

3. Выездной сессии секции химии твердого тела Совета по неорганической химии АН СССР, Челябинск, 1980г.

4. Зональных научно-технических семинарах в г.Челябинске в 1976, 1977, 1979, 1980 гг.

5. Зональном научно-техническом семинаре в г.Киеве в 1976г.

6. Научно-технических конференциях в Челябинском политехническом институте им.Ленинского комсомола в 1976+1980 гг.

7. Второй научно-технической конференции молодых ученых и специалистов Челябинского политехнического института им.Ленинского комсомола в 1979 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано восемь работ.

Структура и объем работы. Материалы диссертации изложены на 149 страницах машинописного текста. Работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы, включающего 129 наименований, и приложений. В работе имеется 60 рисунков и 13 таблиц.

ОСОБЕННОСТИ ЗАТУПЛЕНИЯ ЗЕРЕН АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

В процессе шлифования, как показано в работах С.А.Попова, В.Д.Сильвестрова, Л.Н.Худобина, С.Н.Корчака и др., происходит массовое затупление режущих зерен круга, с образованием на их вершинах площадок затупления.

В связи с тем, что глубина резания единичным зерном круга в среднем на один-два порядка меньше длины площадки затупления, размер площадок оказывает одно из решающих влияний на величину силы резания, мощности шлифования и, в целом, на производительность и качество обработки деталей. Прямыми опытами С.Малкина установлено, что силы резания в процессе шлифования увеличиваются до 4...5 раз по мере затупления зерен круга.

Интенсивность роста площадок затупления в процессе шлифования во многом зависит от физико-химических свойств абразивного материала зерен круга. Поэтому, применение кругов из более износостойких абразивных материалов вскрывает резервы повышения производительности и качества шлифования деталей.

Из практики и многочисленных теоретических и экспериментальных исследований известны тенденции влияния многих технологических факторов на изменение сил резания, выступающих в качестве ограничения производительности процесса шлифования. Ряд из этих факторов учитывается в расчетных зависимостях сил резания, которые в большинстве случаев несут эмпирический характер и дают достоверный результат только для строго определенных условий шлифования. При анализе эмпирических расчетных зависимостей сил резания можно установить, что из-за неодинаковых условий экспериментов эти зависимости дают значения сил резания, различающихся до нескольких раз. Одна из главных причин такого расхождения состоит в том, что авторами не учитывалась различная степень затупления зерен круга. Аналитические зависимости по расчету сил, предложенные С.Н.Корчаком, лишенные узости диапазона и малочисленности учитываемых факторов, характерных для эмпирических зависимостей, относятся лишь к единичному зерну и не распространены на круги в целом, а также точность и производительность операций шлифования.

Поэтому, основная трудность при проектировании операции шлифования обусловлена отсутствием расчетных зависимостей сил резания, производительности и точности обработки, пригодных для различных условий шлифования.

Таким образом, несмотря на то, что процесс затупления зерен шлифовального круга оказывает существенное влияние на изменение сил резания, а, следовательно, на изменение производительности и качество обработки деталей, учет этого фактора при расчетном проектировании операции шлифования не производится.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ЗАТУПЛЕНИЯ ЗЕРЕН КРУГА

Путем суммирования силовых реакций, возникающих при резании совокупностью зерен круга, находящихся в данный момент времени в зоне контакта круга с деталью, получена следующая обобщенная расчетная зависимость радиальной составляющей силы резания (на основании использования аналитического силового расчета для единичного зерна предложенного С.Н.Корчаком):

$$P_y = \frac{\sigma_i \delta_i \cdot \operatorname{tg} \beta}{V_k} \cdot a + \eta \cdot b \cdot L \frac{\sigma_c}{c}, \quad (I)$$

- где P_y - радиальная, составляющая силы резания [Н];
 σ_i - средняя интенсивность напряжений для разных сталей по всей напряженной зоне действия единичного зерна, характеризующая сопротивляемость сталей пластической деформации в температурно-скоростных условиях, присущих процессу шлифования, [Н/м²];
 $\operatorname{tg} \beta$ - тангенс угла между вектором скорости круга и равнодействующей силой резания, без учета сил трения на площадке затупления зерен круга;
 V_k - скорость вращения круга, [м/с];
 a - интенсивность съема металла, [м³/с];
 η - степень затупления круга, равная отношению суммарной площади площадок затупления всех зерен, находящихся на рабочей поверхности круга к геометрической площади рабочей поверхности круга;
 b - ширина рабочей поверхности круга, [м];
 L - длина дуги контакта круга с деталью, [м];
 σ_c/c - среднее контактное давление по всей площадке затупления зерна в момент резания им металла, [Н/м²];
 c - коэффициент, устанавливающий соотношение между σ_i и средним контактным давлением, зависящем от закона изменения

объемной эпюры напряжений под площадкой затупления (определялся экспериментально, из-за отсутствия данных по закону изменения эпюры напряжений под площадкой затупления).

Раскрывая значения \dot{Q} и L , как

$$\dot{Q} = \pi \cdot d \cdot B \cdot S_{\phi} ; \quad L = \sqrt{\frac{D \cdot d \cdot S_{\phi}}{\pi(D+d)}} , \quad (2)$$

для круглого врезного шлифования получим

$$P_y = \pi \cdot d \cdot B \frac{\sigma_i \cdot \epsilon_i \cdot \operatorname{tg} \beta}{V_k} \cdot S_{\phi} + \eta \cdot B \frac{\sigma_i}{c} \sqrt{\frac{D \cdot d \cdot S_{\phi}}{\pi(D+d)}} , \quad (3)$$

где d - диаметр обрабатываемой детали, [м] ;

S_{ϕ} - фактическая подача, измеряемая по изменению радиуса детали в процессе шлифования, [м/с] ;

D - диаметр круга, [м] ;

π - число оборотов детали в секунду, [об/с] .

Экспериментальная проверка полученных зависимостей проводилась на специальном стенде, обеспечивающем круглое врезное шлифование с постоянной силой прижима круга к детали. В ходе экспериментов проводилось измерение \dot{Q} и η . Степень затупления η определялась путем измерения с помощью микроскопа по специальной методике площадок затупления зерен круга. На рис. I представлены экспериментальные точки и теоретическая кривая зависимости $\dot{Q} = f(\eta)$, рассчитанная по уравнению

$$\dot{Q} = \left(-\frac{\eta c V_k}{2 \epsilon_i \operatorname{tg} \beta} \sqrt{\frac{DB}{\pi(D+d)}} + \sqrt{\left(\frac{\eta c V_k}{2 \epsilon_i \operatorname{tg} \beta} \sqrt{\frac{DB}{\pi(D+d)}} \right)^2 + P_y \frac{V_k}{\sigma_i \epsilon_i \operatorname{tg} \beta}} \right)^2 . \quad (4)$$

Расчет проводился при значении $\epsilon_i = 3,82$, $\operatorname{tg} \beta = 2,48$. Величина σ_i бралась из работы С.Н. Корчака [48]. Разброс экспериментальных значений коэффициента при шлифовании сталей 12Х2Н4А, 1Х13 и Р9 составил $C = 2,8 \dots 3,3$.

Статистической обработкой результатов экспериментов доказана адекватность расчетных зависимостей (1) и (4). Анализ уравнения (4) показал, что интенсивность съема металла \dot{Q} , характеризующая производительность процесса шлифования, функционально снижается по мере увеличения степени затупления круга η при $P_y = \operatorname{const}$.

При управлении процессом шлифования путем изменения номинальной подачи S_{ni} , т.е. подачи, измеряемой по лимбу станка, производительность и точность обработки деталей, как показано в трудах Б.С. Балакшина, А.П. Соколовского и др., во многом определяется жесткостью (по-

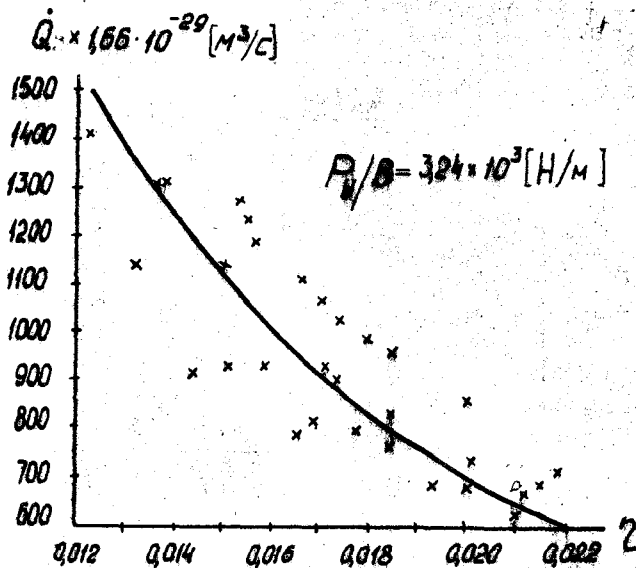


Рис. 1. Экспериментальные точки и теоретическая кривая зависимости $\dot{Q} = f(P_y)$. Сталь 12Х2Н4А. $V_k = 40$ м/с

датливостью) системы СПИД. Основываясь на результатах исследований ряда авторов, установлена функциональная взаимосвязь фактической $S_{\phi i}$ кинематической S_{ki} и номинальной S_{ni} подачам за какой угодно малый интервал времени ΔT_i шлифования (рис. 2.), которая может быть выражена следующей зависимостью:

$$S_{\phi} = S_{ni} + \frac{1P_{y(i-1)} - 1P_{y_i}}{\Delta T_i}, \quad (5)$$

где i - номер интервала времени ΔT_i , начиная с момента касания кругом детали;

ΔT_i - интервал времени процесса шлифования, в течение которого производится расчет изменения средней фактической подачи $S_{\phi i}$ при заданном значении номинальной подачи $S_{ni} (\Delta T_1 = \Delta T_2 = \dots = \Delta T_i)$, [с];

$S_{\phi i}$ - среднее значение фактической подачи в течение интервала времени ΔT_i , [м/с];

P_{y_i} - среднее значение радиальной составляющей силы резания в течение интервала времени ΔT_i , [Н];

- j - податливость системы СПИД, [м/Н];
 S_{ni} - номинальная подача в течение интервала времени $\Delta\tau_i$, [м/с].

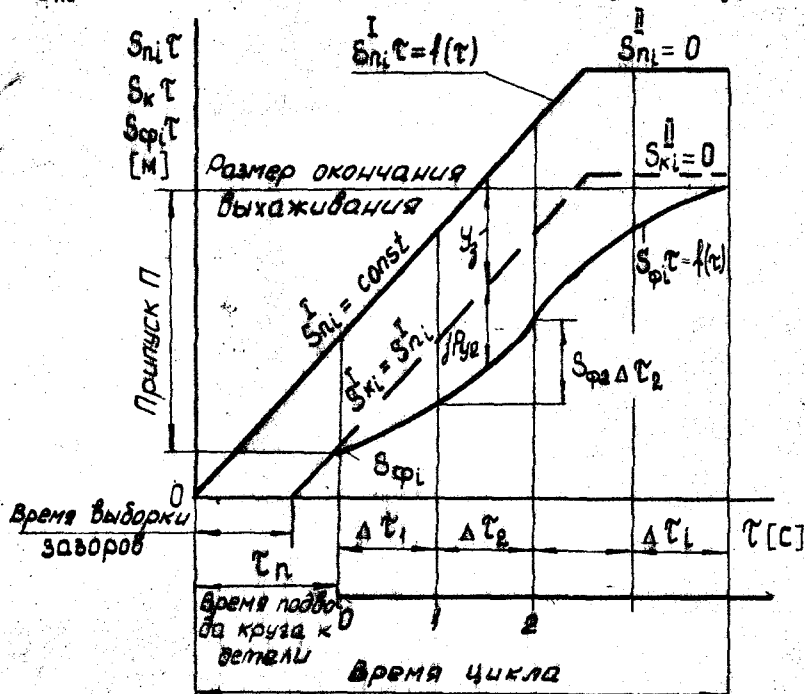


Рис. 2. Расчетная схема цикла обработки деталей при круглом врезном шлифовании (при $S_{ni} = \text{const}$ и $S_{ni} = 0$)

При совместном решении уравнений (2) и (5) получена расчетная зависимость текущего значения радиальной силы P_{yi} при заданном законе изменения номинальной подачи в процессе шлифовании

$$P_{yi} = \frac{K_1(S_{ni}\Delta\tau_L + P_{y(i-1)})}{\Delta\tau_L + K_1j} + \frac{K_2^2\eta^2\Delta\tau_L}{2(\Delta\tau_L + K_1j)^2} \times \left(\sqrt{1 + \frac{4(S_{ni}\Delta\tau_L + P_{y(i-1)})(\Delta\tau_L + K_1j)}{K_2^2\eta^2}} - 1 \right), \quad (6)$$

где K_1 и K_2 - постоянные коэффициенты для фиксированных условий при круглом врезном шлифовании, равные

$$K_1 = \frac{9dBG_L\delta\tau_{\phi}}{V_k}; \quad K_2 = \frac{BG_L}{c} \sqrt{\frac{Dd}{\eta(D+d)}}$$

Расчет текущего значения P_{y_i} по уравнению (6) проводится последовательным расчетом в каждый интервал времени Δt_i при $f = \text{const}$. Изменения $S_{\text{пл}}$ и P_{y_i} за время трехступенчатого цикла шлифования (при заданном законе изменения $S_{\text{пл}}$), рассчитанные по уравнениям (5) и (6), приведены на рис.3.

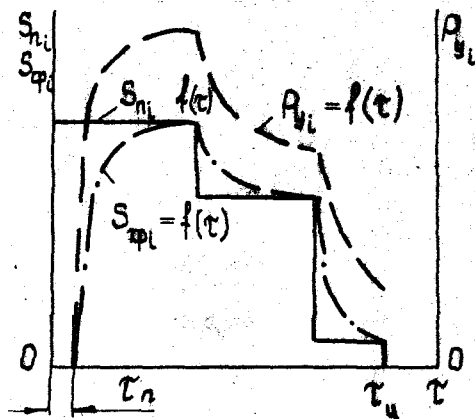


Рис.3. Расчетные графики изменения $S_{\text{пл}}$ и P_{y_i} во времени при заданном законе управления номинальной подачи $S_{\text{пл}}$ в течение трехступенчатого цикла шлифования

Время цикла τ_4 зависит от величины фактических подач, которые, в свою очередь, зависят от допустимых сил резания, формируемых величиной номинальной подачи и податливостью системы СПИД. А так как степень затупления круга η существенно влияет на силы резания или изменение производительности процесса шлифования при $P_y = \text{const}$ (рис.1), то прослеживается прямое теоретическое влияние η на производительность операции шлифования.

Поэтому, рассмотрим влияние η на изменение производительности с учетом точности обработки деталей, выполняемой на станках с автоматическим циклом шлифования.

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ЗАТУПЛЕНИЯ КРУГА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Из ряда исследований известно, что в результате упругих деформаций системы СПИД, обусловленных колебанием силы резания, небольшую погрешность обрабатываемой детали составляет погрешность размера динамической настройки $A_{\text{д}}$. Возникновение $A_{\text{д}}$ обусловлено рядом причин, из которых основными являются исходное биение заготовки и затупление режущего инструмента - шлифовального круга.

Погрешность размера динамической настройки для операций шлифования составляет 70...80% от суммарной погрешности обработки готовой детали и определяется, согласно данным Б.С.Балакшина и А.Г.Косиловой, по формуле

$$A_d = P_{ук}^{max} f^{max} - P_{ук}^{min} f^{min}, \quad (7)$$

где $P_{ук}^{max}$, $P_{ук}^{min}$ - максимальное и минимальное значения радиальной составляющей силы резания (для круглого врезного шлифования в конце цикла);
 f^{max} , f^{min} - максимальное и минимальное значения податливости системы СПИД.

Определение A_d для заданных условий операции шлифования, и, с учетом величины степени затупления круга η , производится с помощью уравнения (6), по которому рассчитываются текущие значения максимального P_{yl}^{max} и минимального P_{yl}^{min} значений радиальной составляющей силы резания.

Расчет P_{yl}^{max} (рис.4.) производится с момента касания кругом детали максимального радиуса некруглой заготовки (при $\tau = \tau_n$), а значение P_{yl}^{min} - с момента касания кругом минимального радиуса (при $\tau = \tau_\varphi$).

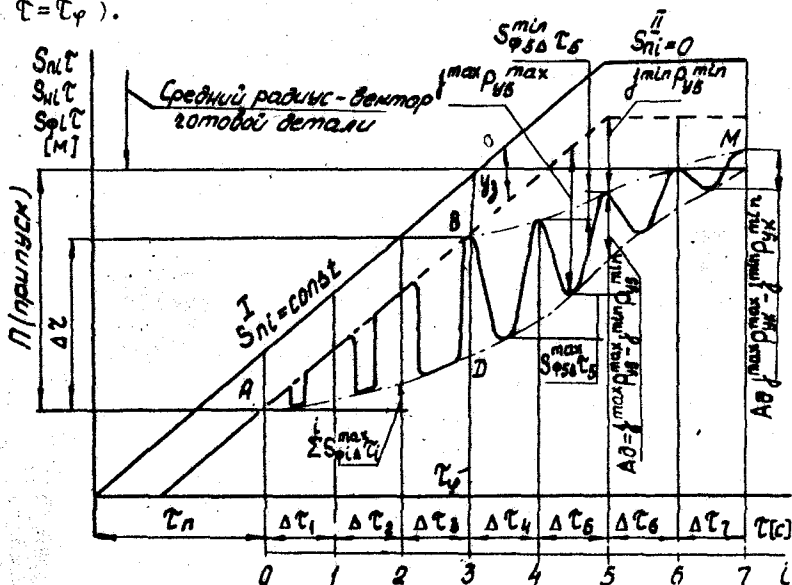


Рис.4. Расчетная схема цикла процесса шлифования при обработке детали, имеющей исходное радиальное биение Δz

Из формулы (7) следует, что для снижения погрешности динамической настройки, значения $R_{ук}^{max}$ и $R_{ук}^{min}$ должны быть уменьшены до минимального уровня. С ростом степени затупления круга в процессе шлифования от минимального η_{min} до максимального значения η_{max} , происходит увеличение радиальной составляющей силы резания (рис.5).

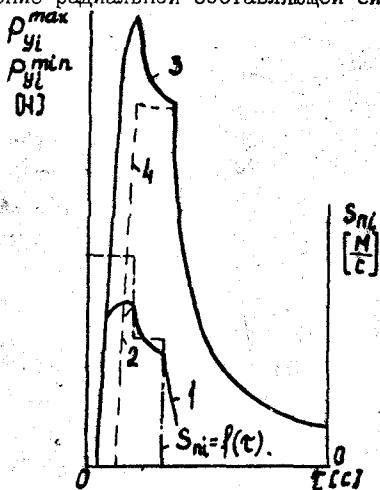


Рис.5. Расчетные изменения радиальных сил R_{yi}^{max} и R_{yi}^{min} от изменения степени затупления круга от $\eta_{min} = 0,008$ до $\eta_{max} = 0,03$ при обработке детали, имеющей исходное радиальное биение
 1;2 $\eta_{min} = 0,008$
 3;4 $\eta_{max} = 0,03$

При круглом врезном шлифовании деталей на станках с управлением по прибору активного контроля с ростом степени затупления круга, погрешность размера динамической настройки остается постоянной, но производительность операции шлифования снижается вследствие увеличения времени обработки. При круглом врезном шлифовании до упора с увеличением η , снижается точность и производительность обработки деталей.

Таким образом, чем больше степень затупления круга и чем интенсивней происходит затупление зерен круга, тем ниже производительность и точность обработки деталей. Поэтому, одним из резервов повышения производительности и точности обработки деталей на операциях шлифования, является снижение интенсивности затупления режущих зерен круга, что может быть обеспечено за счет применения кругов из новых, более износостойких абразивных материалов.

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗАТУПЛЕНИЯ КРУГОВ ИЗ БЕЛОГО И
ХРОМОТИТАНИСТОГО ЭЛЕКТРОКОРУНДОВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ
ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ

Интенсивность затупления круга в процессе шлифования во многом определяется прочностными свойствами абразивного материала зерен. Поэтому, в работе проведено сравнительное исследование прочностных свойств (в температурно-скоростных условиях реального шлифования) нового абразивного материала хромтитанистого электрокорунда марки 91А и традиционных материалов белого 24А и нормального 14А электрокорундов. В качестве критерия прочностных свойств абразивных материалов выбрана удельная энергия разрушения в условиях шлифования $A_{уд}$, равная

$$A_{уд} = A/W, \quad (8)$$

где A - энергия разрушения объема W абразивного материала, [Нм];
 W - объем разрушенной части абразивного материала, [м³].

Энергия разрушения A измерялась с помощью специального прибора - инерционного динамометра маятникового типа. Принцип работы прибора основан на резании, закрепленного на маятнике образца металла, вращающимся абразивным зерном. По весьма малому углу отклонения маятника (несколько минут) определялась энергия разрушения A . Эксперименты проводились при скорости резания единичным зерном 35 м/с и температуре образца металла 650±50°С. Резание проводилось предварительно заточенными зернами с углом при вершине 90°. Объем W разрушенной части зерна определялся с помощью проектора часового типа при сто-кратном увеличении.

В ходе экспериментов было разрушено порядка тридцати зерен из каждого материала и получены следующие средние значения удельной энергии разрушения для разных марок электрокорундов: 91А - $A_{уд} = 3,39 \times 10^{10}$; 24А - $A_{уд} = 0,74 \times 10^{10}$; 14А - $A_{уд} = 0,55 \times 10^{10}$ [Нм/м³]. По полученным экспериментальным данным абразивный материал марки 91А обладает в 4,5...6 раз более высокими прочностными свойствами по сравнению с материалами 24А и 14А. Поскольку, режущие свойства круга обуславливаются интенсивностью затупления зерен круга, а последняя зависит от прочностных свойств абразивного материала зерен, то можно ожидать, что круги из материала марки 91А будут иметь лучшие режущие свойства по сравнению с кругами из 14А и 24А и обеспечат повышение производительности процесса шлифования за счет более низкой интенсивности затупления зерен.

С целью проверки этого положения в работе произведено сравнительное экспериментальное исследование режущих свойств шлифовальных кругов, изготовленных из этих же материалов. Эксперименты проводились на стенде, обеспечивающем круглое врезное шлифование при постоянной силе прижима круга к детали. Режущие свойства кругов оценивались по объему сошлифованного металла за время стойкости круга. За время стойкости принималось время, в течение которого степень затупления кругов изменялась в одинаковых пределах от η_{\min} до η_{\max} . Учитывая, что интенсивность съема металла функционально взаимосвязана со степенью затупления круга, т.е. значению η_{\min} соответствует \dot{Q}_{\max} , а η_{\max} соответствует \dot{Q}_{\min} , за время стойкости принималось время, в течение которого интенсивность съема металла изменялась в одинаковых пределах от \dot{Q}_{\max} до \dot{Q}_{\min} (рис. 6.).

Эксперименты проводились при разных значениях удельной силовой нагрузки (на единицу длины обрабатываемой поверхности детали) равных $(2;4 \text{ и } 8) \times 10^3 \text{ [Н/м]}$. Материал шлифуемых образцов сталь 40Х.

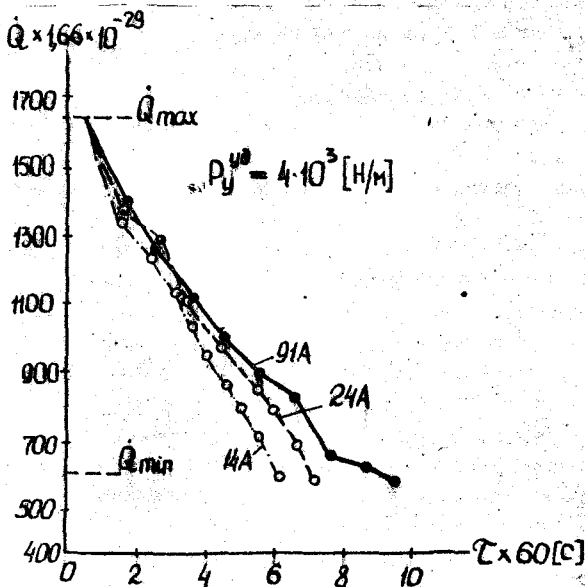


Рис. 6. График зависимости интенсивности съема металла \dot{Q} во времени T при шлифовании кругами из различных абразивных материалов. Сталь 40Х.

Согласно полученным экспериментальным данным, режущие свойства кругов из материала 91А по сравнению с кругами из 24А выше в 1,2...1,32 раза. Стойкость кругов из 91А выше в среднем на 26%.

Производственные испытания на 49 операциях круглого и бесцентрового шлифования показали, что стойкость между правками кругов из 91А по сравнению с кругами из 24А выше в 1,3...1,5 раза. Режущие свойства кругов из 91А измеряемые по числу деталей между правками соответственно выше на 30...50%.

Из экспериментов по сравнению стойкости кругов следует, что интенсивность затупления кругов из 91А по сравнению с кругами из 24А в среднем ниже в 1,4 раза. Поскольку круги из 91А имеют более низкую интенсивность затупления, то обработка деталей этими кругами возможна при повышенном значении номинальной подачи. Исходя из условия обеспечения примерно одинаковой стойкости между правками кругов из материалов 91А и 24А и одинаковой радиальной составляющей силы резания в конце времени стойкости, обеспечивающую равную погрешность размера динамической настройки, в работе произведен расчет, согласно которому при замене кругов из 24А на круги из 91А фактическая подача может быть увеличена до 29%.

Для оценки возможного увеличения подачи при замене кругов из 24А на 91А в производственных условиях ВАЗа были проведены их сравнительные испытания. В ходе проведенных испытаний на трех операциях шлифования установлено, что подача для кругов из 91А может быть увеличена на 14...20% по сравнению с кругами из 24А при обеспечении заданной точности и качества изготовления деталей и равной стойкости кругов между правками. Увеличение подачи осуществлено на этапах съема основной части припуска.

Таким образом, теоретические расчеты, связывающие степень затупления круга с производительностью цикла обработки, эксперименты и производственные испытания, по определению сравнительной интенсивности затупления кругов из разных абразивных материалов, позволили разработать нижеприведенную методику проектирования циклов шлифования разной производительности с изменением затупления зерен круга и других технологических факторов с учетом точности обработки деталей.

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИКЛА ОПЕРАЦИЙ
ШЛИФОВАНИЯ ДЛЯ СТАНКОВ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДАЧЕЙ

На основе анализа циклов шлифования, применяемых на ВАЗе и КамАЗе, установлено, что наиболее широко распространенными (в силу их высокой производительности) являются двух- и трехступенчатые циклы (рис.7) при обработке деталей на станках, оснащенных приборами активного контроля.

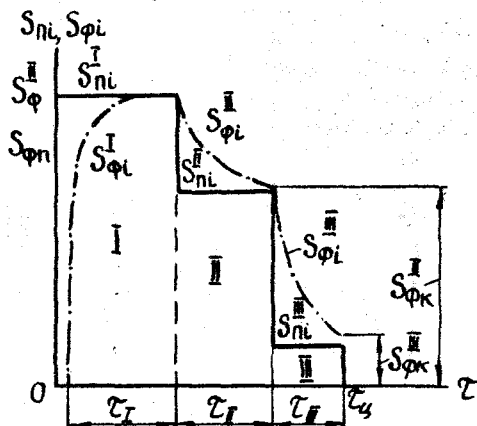


Рис.7. Расчетная схема трехступенчатого цикла обработки на операции круглого врезного шлифования

При формировании цикла обработки на стадии проектирования операции шлифования необходимо распределить припуск, снимаемый на каждом этапе цикла, и произвести расчет номинальных подач и времени обработки деталей.

Выбор номинальных подач производится, исходя из максимально допустимых значений фактических подач на каждом этапе цикла, определяемых с помощью уравнения (9), полученного из уравнения (3)

$$S_{\phi}^{\max} = \left(\frac{-K_2 \eta_{\max} + \sqrt{K_2^2 \eta_{\max}^2 + 4K_1 P_y}}{2K_1} \right)^2 \quad (9)$$

На первом этапе цикла максимально допустимое значение фактической подачи $S_{\phi}^I = S_{\phi}^{\max}$ рассчитывается по уравнению (9) при критическом значении радиальной силы резания $P_y = P_{yI}$, обеспечивающей работу круга в режиме затупления (без осыпания). На третьем этапе цикла - при максимальном значении радиальной силы $P_y = P_{yK}$ в конце цикла шлифования, при котором обеспечивается допустимое значение погрешности размера динамической настройки.

Подача на втором этапе выбирается из условия обеспечения бес-

прижогового шлифования, путем ограничения тангенциальной составляющей P_z силы резания

$$P_z = \pi D B \frac{G_i \varepsilon_i}{V_K} S_{\Phi K}^{\text{II}} + \mu \eta_{\max} \frac{G_i}{C} B \sqrt{\frac{D d S_{\Phi K}^{\text{I}}}{n(D+d)}} \quad (10)$$

(где μ - коэффициент трения), через расчет допустимой мощности теплового источника по критической температуре $T_{\text{пр}}^{\circ}$ прижогов, т.е.

$P_z V_K = f(T_{\text{пр}}^{\circ} C)$. Подача $S_{\Phi K}^{\text{II}}$ из уравнения (10) является максимально допустимой, исходя из условия обеспечения бесприжогового шлифования.

В процессе расчета по уравнениям (5) и (6) текущих значений фактической подачи на втором и третьем этапах цикла, при выбранном значении номинальной подачи, определяется время шлифования $\tau = \sum \Delta \tau_i$, при котором обеспечивается снижение фактической подачи к концу этапа до максимально допустимого значения. Припуск, снимаемый на каждом этапе цикла, определяется путем последовательного суммирования пути фактической подачи $S_{\Phi} \Delta \tau_i$ за каждый интервал времени $\Delta \tau_i$. Припуск, снимаемый на первом этапе цикла, определяется, исходя из заданного припуска на обработку и значений снимаемого припуска на втором и третьем этапах цикла. Время шлифования на первом этапе цикла определяется, исходя из условия съема этого припуска.

Время цикла $\tau_{\text{ц}}$ зависит от времени шлифования на каждом этапе цикла

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_{\text{I}} + \tau_{\text{II}} + \tau_{\text{III}} + \tau_{\text{п}}, \quad (11)$$

каждый из которых является функцией параметров:

- на первом этапе

$$\tau_{\text{I}} = f(P_{\text{уз}} \rightarrow S_{\Phi K}^{\text{I}} \rightarrow f \rightarrow S_{\text{нi}}^{\text{I}}; \Pi_{\text{I}}; \dots),$$

- на втором этапе

$$\tau_{\text{II}} = f(T_{\text{пр}}^{\circ} \rightarrow P_z \rightarrow S_{\Phi K}^{\text{II}} \rightarrow f \rightarrow S_{\text{нi}}^{\text{II}}; \Pi_{\text{II}}; \dots),$$

- на третьем этапе

$$\tau_{\text{III}} = f(A_d \rightarrow P_{\text{ук}}^{\text{III}} \rightarrow S_{\Phi K}^{\text{III}} \rightarrow f \rightarrow S_{\text{нi}}^{\text{III}}; \Pi_{\text{III}}; \dots),$$

где $\Pi_{\text{I}}, \Pi_{\text{II}}, \Pi_{\text{III}}$ - припуск, снимаемый на соответствующем этапе цикла.

Следовательно, время цикла $\tau_{\text{ц}}$, характеризующее производительность операции шлифования, при проектировании операции является функцией параметров

$$\tau_{\text{ц}} = f(f; P_{\text{уз}}; P_{\text{ук}}; P_z V_K = f(T_{\text{пр}}^{\circ}); A_d; \Pi; S_{\Phi i}^{\text{I}}; S_{\Phi i}^{\text{II}}; S_{\Phi i}^{\text{III}}; \dots).$$

Проведенные в диссертации расчеты для конкретных условий операций шлифования ВАЗа показали, что расчетные значения номинальных подач и времени обработки удовлетворительно совпадают с действительными.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

Результаты данных исследований позволяют на стадии проектирования операции учесть влияние затупление зерен круга и других технологических факторов и тем самым повысить качество проектных решений при выборе управляющих подач и расчете норм основного времени.

Полученные зависимости (2), (5), (6) приведены к виду, позволяющему включить их в автоматизированную систему проектирования операций шлифования и могут послужить основой при разработке управляющих программ для шлифовальных станков с числовым программным управлением, осуществляемым от микро-ЭВМ. Эти зависимости могут лечь в основу математических моделей для оптимизационных расчетов производительности операций шлифования.

Указанные зависимости могут быть распространены для других видов шлифования при учете их специфических особенностей.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработаны модели, связывающие производительность процесса шлифования с составляющими силы резания и точностью обработки в широком диапазоне изменения технологических параметров и при разных способах управления процессом, которые впервые учитывают влияние степени затупления зерен круга на показатели эффективности операции шлифования (производительность и точность обработки деталей).

2. Интегральным показателем затупления зерен круга может служить суммарная площадь площадок затупления зерен, расположенных на рабочей поверхности всего круга, которая может оцениваться относительной величиной, а именно, степенью затупления (η) равной отношению этой площадки ко всей геометрической площади рабочей поверхности круга. Рабочий диапазон изменения η для операций шлифования при работе кругов в режиме затупления составляет $\eta = 0,008 \dots 0,03$.

3. Интенсивность роста степени затупления круга в процессе шлифования обуславливается видом абразивного материала зерен круга.

Круги, изготовленные из хромтитанистого электрокорунда марки 91А, по сравнению с кругами из материала марки 24А, дают снижение интенсивности затупления в 1,3...1,5 раза.

4. Анализ циклов шлифования показал, что при врезном шлифовании до упора с увеличением степени затупления круга, в процессе шлифования либо снижается точность обработки деталей при сохранении прежней производительности операции, либо снижается производительность операции за счет увеличения времени выхаживания при сохранении требуемой точности. При обработке деталей на станках с управлением процессом шлифования путем ступенчатого изменения номинальных подач по командам прибора активного контроля, с увеличением затупления круга, производительность операции также снижается при постоянной точности обработки деталей, за счет увеличения основного времени из-за роста сил резания и соответствующего снижения фактических подач.

5. Разработана методика инженерного проектирования продолжительности циклов операций шлифования, учитывающая относительное изменение степени затупления зерен круга и точности обработки, с учетом (при расчете подач и сил резания) ряда других определяющих технологических факторов.

6. Сравнительные эксперименты и внедрение подтвердило существенное влияние износа зерен круга на изменение производительности операций шлифования или стойкости кругов, которые для случая замены зерен белого электрокорунда марки 24А на зерна хромтитанистого электрокорунда марки 91А составили повышение производительности до 20% или стойкости кругов до 30...50%.

7. Разработанная методика аналитического расчета изменения производительности операций шлифования с изменением интенсивности затупления зерен кругов, может применяться не только при замене материала зерен, но и при изменении их интенсивности затупления за счет любых технологических способов: применения тех или иных смазочно-охлаждающих жидкостей, изменения скорости резания и других условий шлифования.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Корчак С.Н., Переверзев П.П. Влияние интенсивности износа шлифовальных кругов на их производительность. В сб. трудов ЧПИ № 178 "Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки", Челябинск, 1976.

2. Переверзев П.П. Метод измерения площадок износа зерен шлифовальных кругов. Там же.

3. Переверзев П.П. Влияние интенсивности износа шлифовальных кругов на их производительность. В сб. трудов ЧПИ № 211 "Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки", Челябинск, 1976.

4. Корчак С.Н., Переверзев П.П. и др. Моделирование работоспособности кругов разных характеристик и методика выбора кругов и режимов в общемашиностроительных нормативах режимов шлифования. Тезисы первого Всесоюзного научно-технического семинара "Оптимизация условий эксплуатации и выбора характеристик абразивного инструмента в машиностроении", Челябинск, 1978.

5. Исследование и определение оптимальной области применения абразивного инструмента из прокатанного электрокорунда (отчет). № гос.рег. 78028086, инв. № Б663849, Челябинск, 1978.

6. Исследование физико-механических свойств новых марок электрокорундов, определяющих их работоспособность и область рациональной эксплуатации инструментов из них (отчет). № гос.рег. 79017971, инв. № Б742611, Челябинск, 1978.

7. Плачков В.П., Переверзев П.П. Высокопроизводительное шлифование кругами из новых абразивных материалов. Тезисы Всесоюзной научно-технической конференции "Прогрессивные методы абразивной, алмазной и эльборной обработки в машиностроении", М., НИИМАШ, 1979.

8. Переверзев П.П. Методика оценки качества новых абразивных материалов. Тезисы зонального научно-технического семинара "Современный абразивный инструмент и методы повышения эффективности процесса шлифования", Челябинск, 1980.

Переверзев Павел Петрович

**ВЗАИМОСВЯЗЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ТОЧНОСТИ
ОПЕРАЦИЙ ШЛИФОВАНИЯ С ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ЗАТУШЕНИЯ
КРУГОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ АБРАЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Специальность № 05.02.08 - "Технология машиностроения"

Техн. редактор Миних А. В.

ФБ 00054. Подписано к печати 19/У-81г. Формат бумаги 60x90 1/16.
Объем 1,25 п.л., 1 уч.-изд.л. ЧИИ. Тираж 100 экз. Заказ № 220/589.