

05.02.08 2АК

И 853

На правах рукописи

Исаков Денис Владиславович

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ
ОПЕРАЦИЙ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ**

Специальность 05.02.08 – «Технология машиностроения»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Челябинск

2000

Работа выполнена на кафедре «Технология, бизнес и компьютерное управление машиностроительных производств» Южно-Уральского государственного университета

Научный руководитель – заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор С.Н.Корчак.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,

профессор В.А.Аксенов;

кандидат технических наук В.И.Сурков.

Ведущее предприятие – АО Челябинский тракторный завод.

Защита диссертации состоится 19 декабря 2000 г., в 14 часов, на заседании специализированного совета в Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И.Ленина, 76, ауд. 504.

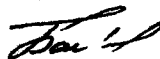
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан 18 ноября 2000 г.

Ученый секретарь

специализированного совета,

доктор экономических наук, профессор



И.А.Басв

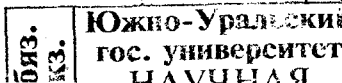


Актуальность работы. Операции шлифования являются одними из наиболее распространенных финишных операций механической обработки деталей машин. На этих операциях обеспечиваются высокие требования, предъявляемые к точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей. В связи с тенденцией к повышению качества изготовления изделий доля шлифовальных операций в общем объеме операций механической обработки постоянно увеличивается. Поэтому повышение производительности шлифовальных операций при обеспечении высоких требований, предъявляемых к качеству обрабатываемых поверхностей, является актуальной задачей.

Для проектирования эффективных операций шлифования необходимо иметь данные, позволяющие выбирать характеристику шлифовального круга и режимы резания, при которых требуемое качество обрабатываемых поверхностей обеспечивается с наименьшими затратами.

В нормативно-справочной литературе, используемой при проектировании шлифовальных операций, приведены данные, по которым для шлифования конкретной детали выбирают шлифовальный круг определенной характеристики и режимы резания, обеспечивающие заданную точность и шероховатость шлифуемой поверхности. Для обработки разных деталей выбирают разные шлифовальные круги и режимы резания. Такие нормативы пригодны для проектирования операций, выполняемых в условиях крупносерийного и массового производства, где на одном станке в течении длительного времени шлифуют заготовки только одной детали.

На предприятиях средне- и мелкосерийного производства, обычно, одним и тем же шлифовальным кругом обрабатывают разные заготовки из разных материалов и обеспечивают разные требования по шероховатости и точности. В этих условиях задача проектирования шлифовальных операций



заключается в том, чтобы для обработки разных деталей выбрать один шлифовальный круг и для каждой детали назначить наиболее производительные режимы резания. При этом затраты на обработку всех деталей, выбранным кругом должны быть меньше, чем затраты на обработку этих деталей другими кругами. В нормативно-справочной литературе рекомендаций по проектированию таких операций нет.

Из-за отсутствия таких данных, на предприятиях средне- и мелкосерийного производства для обработки на одном станке разных деталей характеристику шлифовального круга и режимы резания обычно назначают на основании опыта технолога или рабочего. При этом, как правило, выбирают не лучшую характеристику шлифовального круга, а режимы резания назначают намного ниже оптимальных. В связи с этим существует значительный резерв повышения производительности шлифовальных операций.

Данные, необходимые для проектирования шлифовальных операций, можно получить при наличии полной и объективной информации об эксплуатационных показателях шлифовальных кругов разных характеристик. Основными из этих показателей являются: шероховатость шлифованной поверхности; силы резания, определяющие точность обработки; интенсивность съема металла, интенсивность износа и стойкость круга. В настоящее время такие данные получены экспериментальным путем для немногих характеристик кругов. При этом набор эксплуатационных показателей оказывается неполным и методологически не увязанным с необходимыми данными для проектирования производительных шлифовальных операций. В условиях серийного производства при небольших партиях деталей оказывается не возможным подбирать шлифовальный круг и режимы резания опытным путем.

Перспективным направлением существенного сокращения трудоемкости получения полного набора данных, необходимых для проектирования шлифовальных операций, является создание расчетных методов определения

эксплуатационных показателей шлифовальных кругов разных характеристик, оформленных в виде паспортов эксплуатационных показателей шлифовальных кругов и создание на их основе базы данных для проектирования шлифовальных операций. Решению этих задач посвящена данная работа.

Диссертация выполнена в рамках НИР, проведенных на кафедре «Технология, бизнес и компьютерное управление машиностроительных производств» Южно-Уральского государственного университета.

Цель работы. Повысить производительность шлифовальных операций, выполняемых в условиях серийного производства, путем расчетного определения эксплуатационных показателей шлифовальных кругов разных характеристик и методики выбора по ним наиболее рациональной характеристики шлифовального круга и режимов резания для обработки групп разных деталей.

Научная новизна. Построена модель формирования рельефа рабочей поверхности шлифовального круга в процессе шлифования. Установлены взаимосвязи параметров рельефа с характеристикой шлифовального круга и с режимами резания.

С учетом этих взаимосвязей выведены формулы для определения величин эксплуатационных показателей шлифовальных кругов (шероховатости шлифованной поверхности и составляющих сил резания, определяющих точность обработки, а также величину износа шлифовальных кругов).

Выведена формула для определения границы области допустимых силовых режимов работы шлифовальных кругов разных характеристик.

Практическая ценность. На основе установленных аналитических зависимостей разработан расчетный способ построения паспортов эксплуатационных показателей шлифовальных кругов, а также методика использования этих паспортов при проектировании производительных шлифовальных операций.

Паспорта эксплуатационных показателей шлифовальных кругов и методика использования их при проектировании шлифовальных операций внедрены на машиностроительных предприятиях.

Обсуждение работы. Основные результаты работы доложены и обсуждены на первой и второй международной конференции «Машиностроение. Новые технологии», проходивших в городе Челябинске соответственно в 1997 и 1998 годах и ежегодных научных семинарах кафедры.

Законченная работа обсуждена и одобрена на совместном заседании кафедр «Технология, бизнес и компьютерное управление машиностроительного производства», «Оборудование и инструмент компьютеризированного производства» Южно-Уральского государственного университета.

Публикации. Основное содержание диссертации изложено в 9 печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 166 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы (124 наименований) и приложений. В работе имеется 34 рисунка и 8 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность задачи повышения производительности шлифовальных операций за счет рационального использования эксплуатационных возможностей шлифовальных кругов. Подчеркнута особая значимость решения этой задачи для проектирования операций шлифования, выполняемых в условиях серийного производства, в том числе и для операций, реализуемых на станках с ЧПУ. В краткой форме изложена научная новизна и практическая ценность выполненных исследований, а также приведен перечень решенных в диссертации задач.

Состояние вопроса и постановка задач исследования

К настоящему времени благодаря трудам отечественных и зарубежных ученых, построен ряд моделей процесса шлифования, в которых выведены зависимости для расчета некоторых показателей (шероховатости шлифованной поверхности, величин составляющих силы резания и др.). Из рассмотрения таких зависимостей видно, что величины эксплуатационных показателей зависят от параметров рельефа рабочей поверхности шлифовального круга, таких как число работающих зерен в зоне контакта, расстояния между ними и других. Трудности выполнения расчетов по этим зависимостям связаны, прежде всего, со сложностью определения величин параметров рельефа, формирующегося в процессе шлифования.

Теоретическим и экспериментальным исследованиям рельефа рабочей поверхности шлифовального круга, а также созданию расчетных методов определения параметров рельефа посвящены работы А.К.Байкалова, Н.И.Богомолова, А.К.Королева, Ю.К.Новоселова, В.И.Островского, С.А.Попова, А.Н.Резникова, А.И.Сальникова, Л.Н.Филимонова, Н.Пекленника, В.Кенга, В.Лорца, М.Сейки и многих других отечественных и зарубежных ученых. Анализ полученных аналитических зависимостей для расчета параметров рельефа показал, что в подавляющем большинстве случаев они опираются на данные, получаемые экспериментальным путем, кроме того в работах не учитываются изменения рельефа круга при различных режимах шлифования.

Накопленные к настоящему времени материалы теоретических и экспериментальных исследований процесса формирования рельефа рабочей поверхности шлифовального круга, позволили изучить основные закономерности этого процесса. В частности, установлено, что рельеф, формирующийся в процессе шлифования, зависит от параметров характеристики круга и от режимов резания. В настоящее время такие взаимосвязи параметров рельефа с параметрами характеристики круга и

режимами резания изучены лишь на уровне экспериментальных исследований для отдельных характеристик кругов. Для создания расчетных методов определения эксплуатационных показателей шлифовальных кругов разных характеристик, необходимо разработать расчетные способы определения параметров рельефа, формирующегося при разных видах шлифования.

Для достижения сформулированной выше цели в работе решены следующие задачи:

1. Разработана методика расчета параметров рельефа рабочей поверхности шлифовального круга при различных режимах шлифования;
2. Установлена взаимосвязь параметров рельефа рабочей поверхности шлифовального круга с параметрами характеристики шлифовального круга;
3. Сформирован комплекс основных эксплуатационных показателей шлифовальных кругов, необходимых для проектирования шлифовальных операций, и установлена взаимосвязь этих показателей с параметрами характеристики круга и с режимами резания.
4. Расчетным путем определены величины критических сил резания и режимов шлифования для кругов разных характеристик, при которых происходит их интенсивный износ.
5. На основе установленных расчетных зависимостей создана база данных в виде паспортов эксплуатационных показателей шлифовальных кругов и разработана методика использования их для проектирования шлифовальных операций.

Формирование рельефа рабочей поверхности шлифовального круга

Рельеф рабочей поверхности шлифовального круга формируется на основе его внутреннего строения, зависящего от характеристики круга. Обычно теоретическое описание внутреннего строения представляется в виде совокупности абразивных зерен, которые по форме приближаются к форме шара диаметром d_z , а по объему равны среднему объему реального зерна в

круге. Такие зерна равномерно распределены в объеме круга, покрыты слоем материала связки и соединены между собой мостиками из этой связки. Относительное объемное содержание абразивных зерен W_z , связки W_c и пор W_n , приводимое в рецептуре кругов разных характеристик, обуславливает взаимосвязь размеров мостиков связки с размерами зерен, определяющими прочность закрепления зерен в круге. Такая модель позволяет по параметрам характеристики круга рассчитать концентрацию зерен в объеме матрицы круга, концентрацию зерен, работающих в поверхностном слое круга, а также параметры мостиков связки.

Вершина не затупленного зерна может быть аппроксимирована острым конусом с углом 2γ , а затупленного (с площадкой износа) – усеченным конусом. На границе поверхностного слоя с матрицей круга концентрация зерен на секущей плоскости Z_0 определяется только внутренним строением шлифовального круга и рассчитывается по формуле

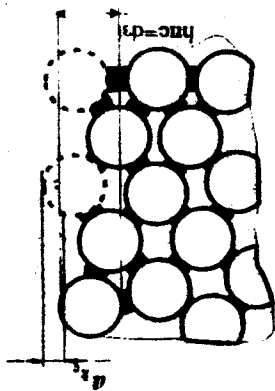
$$Z_0 = \frac{6W_z}{\pi d^2} \quad (1)$$

Закономерность изменения концентрации вершин работающих зерен по глубине поверхностного слоя зависит от особенностей износа шлифовального круга при различных режимах работы. В соответствии с распространенной классификацией режимов работы круга по характерным признакам износа его рабочей поверхности принято различать: режим работы с самозатачиванием (или осыпанием), с частичным самозатачиванием и частичным затуплением зерен на поверхности круга и режим работы с преимущественным затуплением зерен (рис.1).

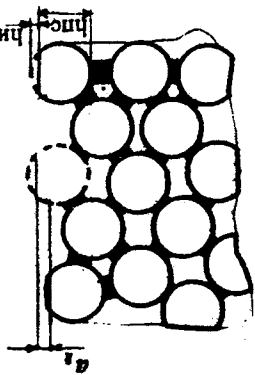
Характерным видом износа при работе шлифовального круга в режиме самозатачивания является преимущественное вырывание зерен из связки под действием критической силы, возникающей при критической толщине среза. При этом на зернах не успевают образовываться площадки затупления.

Рельеф рабочей поверхности шпифовального круга, сформированный при различных режимах шпифования

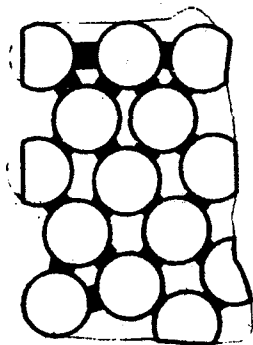
а) режим самозатягивания



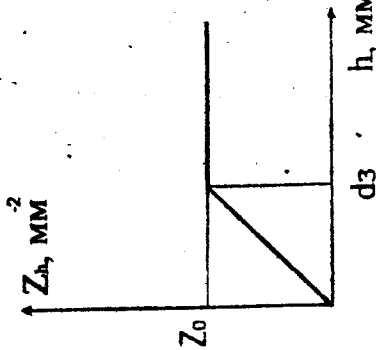
б) режим частичного самозатягивания и частичного затупления



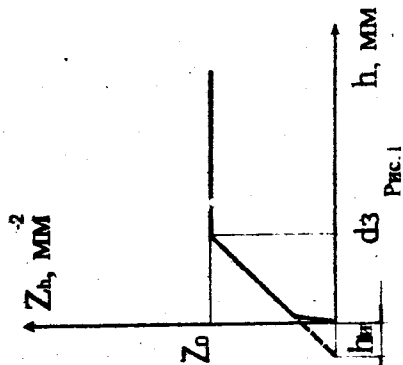
в) режим затупления



Z_h, MM



Z_h, MM



Z_h, MM

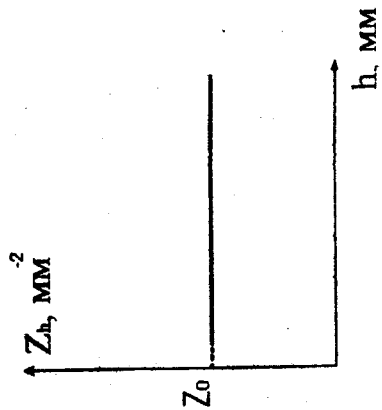


Рис. 1

Глубина, измененного по концентрации зерен поверхностного слоя, равна диаметру зерна d_z (рис.1.а).

Параметры рельефа определяются на глубине равной максимальной толщине среза единичным зерном - a_{k_c} , при которой происходит интенсивный износ (осыпание) круга. Концентрация зерен на этой глубине определяется уравнением

$$Z_{a_k} = Z_0 \frac{a_{k_c}}{d_z} = \frac{6W_z a_{k_c}}{\pi d_z^3} \quad (2)$$

Величина относительной опорной площади η_{a_k} на глубине a_{k_c} определяется по формуле

$$\eta_{a_k} = \frac{2W_z a_{k_c}^3 \operatorname{tg}^2 \gamma}{d_z^3} \quad (3)$$

Расстояние между вершинами зерен L_z , определяется как

$$L_z = \frac{2d_z^3}{3\sqrt{3}W_z a_{k_c}^2 \operatorname{tg} \gamma} \quad (4)$$

При работе шлифовального круга в режиме частичного самозатачивания и частичного затупления (рис.1б) на вершинах режущих зерен вначале образуются небольшие площадки затупления. По мере радиального износа шлифовального круга площадки затупления увеличиваются. Силы, действующие на единичное зерно, возрастают, как из-за увеличения силы трения, так и в связи с увеличением ширины среза (длины режущей кромки зерна). При некоторой (критической) площадке затупления с диаметром b_k и максимальной (критической) толщине среза a_k возникает сила резания, под действием которой зерно вырывается из связки. На основе экспериментальных данных Н.Пекленика, Мацуи и других исследователей принят равномерный закон распределения площадок затупления по глубине. Исходя из этого,

выведена формула для расчета концентрации зерен в пределах максимальной толщины среза

$$Z_{a_k} = \frac{3W_s(2a_k \operatorname{tg} \gamma + b_k)}{\pi d_s^3 \operatorname{tg} \gamma} \quad (5)$$

Величина относительной опорной площадки на глубине a_k в этом случае рассчитывается по формуле

$$\eta_{a_k} = \frac{W_s(2a_k \operatorname{tg} \gamma + b_k)^3}{4d_s^3 \operatorname{tg} \gamma} \quad (6)$$

а расстояние между зернами рассчитывается по формуле

$$L_s = \frac{b_{\varphi}}{\eta_{a_k}} = \frac{8a_k^3 \operatorname{tg} \gamma}{3\sqrt{3}W_s(2a_k \operatorname{tg} \gamma + b_k)^2} \quad (7)$$

Для расчета по выведенным формулам параметров рельефа необходимо определить максимальную (критическую) толщину среза a_k и диаметр критической площадки затупления b_k , величины которых зависят от твердости кругов, т.е. от размеров и прочности мостиков связки, а при одинаковой твердости кругов от режимов шлифования, определяющих толщину срезов на единичных зернах.

При выводе формулы для расчета величины a_k по кинематическим параметрам процесса шлифования учитывалась меняющаяся от величины a_k шероховатость шлифуемой поверхности. Для этого построена модель зоны контакта шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью заготовки, в которой периодическая составляющая микропрофиля аппроксимирована синусоидой. Получены формулы для расчета величин толщины срезов для разных видов износа кругов:

при работе шлифовального круга в режиме самозатачивания

$$a_{k,c} = d_s \sqrt[3]{\frac{5.6V_s}{3\sqrt{3}V_k W_s \operatorname{tg}^2 \gamma} \sqrt{t \frac{D_k + d_s}{D_k d_s}}} \quad (8)$$

где V_k - скорость шлифовального круга; V_s - скорость обрабатываемой поверхности заготовки; D_k - диаметр шлифовального круга; d_s - диаметр обрабатываемой поверхности заготовки; t - подача шлифовального круга за один оборот заготовки.

при работе шлифовального круга в режиме частичного самозатачивания и частичного затупления (вершины зерен с площадками износа)

$$a_k = \frac{2.8V_s}{V_k} \frac{8d_s^3 \operatorname{tg} \gamma}{3\sqrt{3W_s} (2a_k \operatorname{tg} \gamma + b_k)^2} \sqrt{t \frac{D_k + d_s}{D_k d_s}} \quad (9)$$

Формулы (8) и (9) учитывают кинематику резания и не учитывают силы, приходящиеся на единичное зерно. Определить действительные величины a_k и b_k можно на основе расчета сил на работающих зернах и прочностных характеристик закрепления зерен в шлифовальных кругах.

Сила, под действием которой происходит вырывание зерна из связки, зависит от прочностных свойств материала связки, размеров зерна, объемного содержания зерна и связки в круге. Величина этой разрушающей силы рассчитывалась по методике А.В.Королева. Для того, чтобы связать величину этой силы с параметрами среза, использовались расчетные значения составляющих сил шлифования на единичном зерне, разработанные С.Н.Корчаком:

$$P_{y, \text{ш}} = \sigma_1 (K_1 a_k b_k + K_2 b_k^2); \quad (10)$$

$$P_{t, \text{ш}} = \sigma_1 (K_3 a_k b_k + K_2 \mu b_k^2). \quad (11)$$

где, $K_1 = \sigma_1 \varepsilon_i \operatorname{tg} \beta$; $K_2 = \frac{\pi \sigma_1}{4c}$; $K_3 = \sigma_1 \varepsilon_i$; σ_1 - средняя интенсивность напряжений в пределах напряженной зоны; ε_i - интенсивность деформации в зоне контакта зерна с металлом; μ - коэффициент трения

материала зерна о металл; c — постоянный коэффициент, учитывающий соотношение между касательными и нормальными средними напряжениями.

Из условия равенства сил, рассчитанных из прочностных характеристик мостиков связки и сил, установленных по параметрам среза, получены расчетные зависимости для определения величины a_{kc} при работе шлифовального круга в режиме самозатачивания

$$a_{kc} = \sqrt[3]{\left(\frac{W_c}{W_c + W_n}\right)^2 \frac{d_s^2 [\sigma_c]_p}{(N_2 K_3 - N_3 K_1) \sigma_s \operatorname{tg} \gamma}} \quad (12)$$

При работе шлифовального круга в режиме частичного самозатачивания и частичного затупления (вершины зерен с площадками износа) установлена взаимосвязь между величинами a_x и b_x

$$a_x = \left(\frac{W_c}{W_c + W_n}\right)^{2/3} \frac{d_s^2 [\sigma_c]_p}{\sigma_s b_x (N_2 K_3 - N_3 K_1)} + \frac{N_3 K_2 b_{sp} (N_3 K_2 - N_2 K_3)}{N_2 K_3 - N_3 K_1}, \quad (13)$$

где $[\sigma_c]_p$ — величина предельных напряжений материала связки на растяжение; N_2 и N_3 — коэффициенты, учитывающие параметры заделки зерна в связку.

Выведенные формулы (12) и (13) позволяют рассчитывать величины b_x и a_x по параметрам характеристики шлифовального круга и прочностным свойствам шлифуемого материала и связки круга.

При совместном решении уравнений (8) и (12) получена формула для расчета величины подачи шлифовального круга на 1 оборот заготовки, превышение которой приводит к самозатачиванию (осыпанию) круга

$$t_k = \left[\left(\frac{W_c}{W_c + W_n} \right) \left(\frac{3V_k W_s \operatorname{tg} \gamma}{2V_k} \right) \right]^2 \left[\frac{[\sigma_c]_p}{(N_2 K_3 + N_3 K_1) \sigma_1 \operatorname{tg} \gamma} \right]^3 \frac{D_k d_d}{D_k + d_d} \quad (14)$$

При совместном решении уравнений (9) и (13) рассчитана подача на оборот детали, обеспечивающая режим частичного самозатачивания и частичного затупления кругов и дающая наибольшую производительность при чистовом и получистовом шлифовании точных деталей:

$$t = \left[\left(\frac{W_c}{W_c + W_n} \right)^{2/3} \frac{d_s^2 [\sigma_c]_p}{\sigma_1 b_k (N_2 K_3 + N_3 K_1)} + \frac{N_3 K_2 \mu b_k (N_3 K_2 - N_2 K_3)}{N_2 K_3 - N_3 K_1} \right]^2 \times \frac{D_k d_d}{D_k + d_d} \left[\frac{V_k 3\sqrt{3} W_s (2a_k \operatorname{tg} \gamma + b_k)^2}{22.4 V_k d_s^3 \operatorname{tg} \gamma} \right]^2 \quad (15)$$

Полученные зависимости позволили рассчитать основные эксплуатационные показатели шлифовальных кругов при работе на разных режимах резания.

Расчет эксплуатационных показателей шлифовальных кругов

При шлифовании кругом сила резания складывается из сил резания, возникающих при срезе металла зернами, находящимися в данный момент времени в зоне контакта круга с заготовкой. Величины силы резания определялись как произведение сил, действующей на единичном зерне на количество режущих зерен, расположенных в зоне контакта. Величины составляющих силы резания на единичном зерне определялись по формулам (10) и (11). Количество режущих зерен определялось путем умножения концентрации зерен, расположенных на глубине a_k на площадь зоны контакта шириной B и длиной L . В результате получены формулы для расчета величин составляющих силы резания для круга:

0196697

$$P_y = B\sigma_1 \left[K_1 \frac{V_d}{V_k} t + K_2 \frac{W_3 (b_k + 2a_k \operatorname{tg} \gamma)^3 L}{8d_3^3 \operatorname{tg} \gamma} \right]; \quad (16)$$

$$P_z = B\sigma_1 \left[K_3 \frac{V_d}{V_k} t + K_2 \frac{W_3 (b_k + 2a_k \operatorname{tg} \gamma)^3 \mu L}{8d_3^3 \operatorname{tg} \gamma} \right]. \quad (17)$$

Особенностью полученных формул является то, что в них величины сил на круге рассчитываются в зависимости от режимов резания и характеристики круга, а также по величинам b_k и a_k , которые связывают силы резания с рельефом рабочей поверхности круга, формирующимся в процессе шлифования.

Процесс формирования шероховатости шлифуемой поверхности рассматривался как результат прямого копирования профилей вершин абразивных зерен, проходящих через зону контакта. Получена формула для расчета максимально допустимой величины подачи t_{R_s} , при которой в конце цикла шлифования достигается требуемая шероховатость поверхности:

$$t_{R_s} = \sqrt[3]{2.5R_s} \left(\frac{6W_3 V_k a_k (2a_k \operatorname{tg} \gamma + b_k) \sqrt{D_k d_s}}{\pi \sqrt{3d_3^3 V_k} \sqrt{D_k + d_s}} \right)^{3/2}. \quad (18)$$

Полученные формулы (14) – (18) являются основой для построения паспортов эксплуатационных показателей шлифовальных кругов.

Расчетный способ построения паспортов эксплуатационных показателей и методика использования их при проектировании шлифовальных операций

Паспорт представляет собой (рис.2) совокупность графиков изменения величин эксплуатационных показателей шлифовальных кругов в зависимости от подачи шлифовального круга на один оборот заготовки - t . Графики шероховатости шлифуемой поверхности и графики сил резания строятся расчетным путем по формулам (14) – (18) в диапазоне их изменения от

Паспорт эксплуатационных показателей показателей шлифовального круга 1.500×40×305 24А 25Н СМ1 6КПТ 50м/с

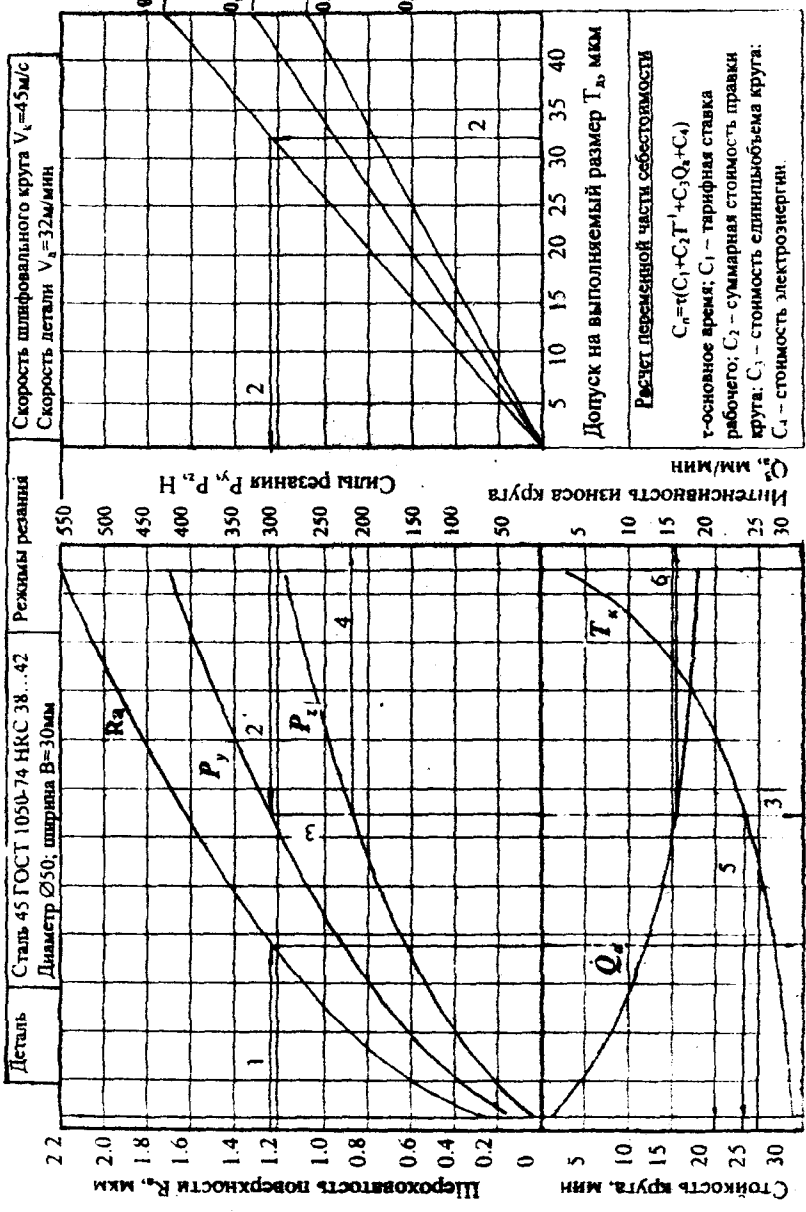


Рис. 2
Подача шлифовального круга на 1 об. дет., мкм

минимальных значений подач, зависящих от зернистости круга (минимальная толщина среза от единичного зерна зависит от его диаметра) до максимальных значений критических подач f_c , зависящих от твердости круга, т.е. от прочности закрепления зерна в связке, обуславливающей осыпание зерен круга (14). Для выбора величины подачи, при которой обеспечивается требуемая точность обработки строятся (по данным общемашиностроительных нормативов на режимы шлифования) графики упругих перемещений технологической системы под действием силы P . Величины перемещений определяются как часть величин допусков на выполняемые размеры, а податливость технологической системы устанавливается в зависимости от срока эксплуатации станков (данные нормативов). По выбранной подаче в конце цикла, обеспечивающей требуемую шероховатость и по выбранной подаче в начале цикла, обеспечивающей требуемую точность обработки, рассчитывается средняя подача за цикл обработки, по величине которой и по припуску рассчитывается основное время на выполнение операций. Для расчета себестоимости операции строятся графики изменения периода стойкости круга T_k и интенсивности его износа Q в зависимости от величины подачи. Данные для этих графиков берутся из справочников.

Проектирование шлифовальных операций по паспорту производится в определенной последовательности. На рис.2 эта последовательность показана стрелками с цифрами, соответствующими порядку выполнения действия.

1. Исходя из требуемой по чертежу шероховатости определяется величина подачи шлифовального круга на 1 оборот заготовки, при которой в конце цикла шлифования обеспечивается эта шероховатость.

2. По допуску на выполняемый размер, взятого из чертежа детали, по шкале допусков и податливости технологической системы определяется величина радиальной составляющей силы резания, при которой достигается требуемая точность.

3. По кривой радиальной силы P_r , находится величина подачи соответствующая найденной силе.

4. По выбранной подаче находится величина тангенциальной составляющей силы резания P_t для проверки по мощности главного привода.

5. Для найденной величины подачи по точности обработки определяется период стойкости шлифовального круга.

6. По выбранной величине подачи определяется интенсивность износа круга.

По стойкости круга и его износу с учётом расхода круга за каждую правку (из норм стойкости кругов) определяется суммарный расход круга на обработку одной детали, а с учетом цены круга определяется переменная часть себестоимости обработки. По основному времени производится сравнение производительности шлифования кругами разных характеристик, а расчет себестоимости позволяет сравнивать экономичность применения разных кругов.

Экспериментальная проверка и использование результатов исследования

Экспериментальная проверка проводилась на специальном стенде, построенном на базе круглошлифовального станка модели 3Б151Ф2. Станок позволяет в автоматическом цикле проводить обработку на разных режимах путем изменения подачи и контролировать диаметр шлифуемой поверхности. Стенд дополнительно оснащен датчиками измерения тангенциальной и радиальной составляющей силы резания, устройством для измерения радиального износа кругов и прибором для измерения параметров рельефа шлифовального круга.

Методика экспериментальной проверки формирования рельефа рабочей поверхности шлифовального круга заключалась в шлифовании образцов при постоянной скорости поперечной подачи круга и измерении параметров рельефа с помощью специально оснащенного микроскопа. Измерялась два

параметра: концентрация зерен и величина площадок затупления. Данные эксперимента сравнивали с расчетными величинами. Разница между экспериментальными и расчетными величинами не превышала 20%.

Проведена серия экспериментов по проверке зависимостей, выведенных для расчета шероховатости шлифованной поверхности, а также формул для определения величин составляющих сил резания.

На рис.3 и рис.4 приведено сравнение расчетных и экспериментальных данных (точки) изменения величин составляющих силы резания и шероховатости шлифуемой поверхности в зависимости от величины подачи на один оборот детали.

Статистическая обработка экспериментальных данных и проверка расчетных зависимостей подтвердила возможность использования выведенных формул для решения практических задач.

Разработанные паспорта эксплуатационных показателей шлифовальных кругов и методика проектирования по ним шлифовальных операций внедрена на нескольких предприятиях. На Челябинском тракторном заводе создана база данных об эксплуатационных показателях шлифовальных кругов в виде 74 паспортов. В результате внедрения паспортов появилась возможность сокращения номенклатуры используемых кругов на 35% (ряд используемых кругов имеют близкие по величине эксплуатационные показатели), и повышения производительности на 150 операциях шлифования.

На Челябинском автоматнo-механическом заводе коррекция режимов резания по паспортам эксплуатационных показателей кругов, применяемых на заводе, позволила получить экономический эффект в размере 28200 рублей.

**Изменение величин составляющих силы резания
в зависимости от величины подачи шлифовального круга
Шлифовальный круг 14А 25 СМ1 6К**

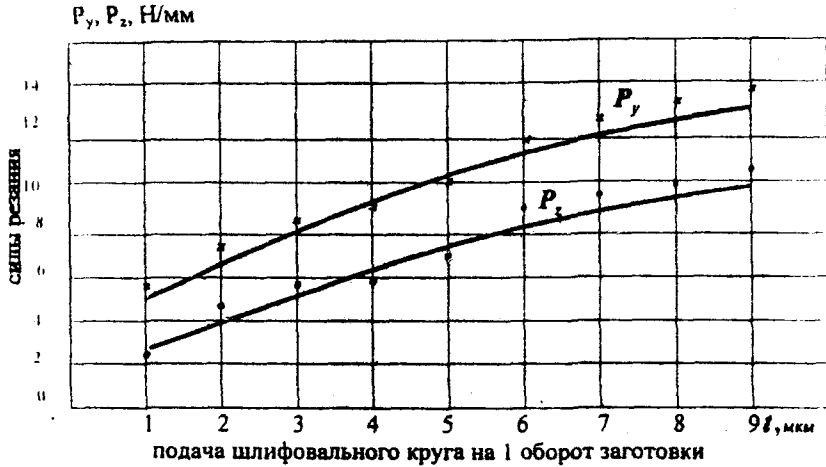


Рис.3

**Изменение шероховатости шлифованной поверхности в
зависимости от величины подачи шлифовального круга**

$R_a, \text{мкм}$ • 14А 16 СМ1 6К; ♦ 14А 25 СМ1 6К; × 14А 40 СМ1 6К



Рис.4

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Для шлифовальных кругов разных характеристик (разной зернистости; с различным объемным содержанием зерен, связи и пор в круге) рассчитаны параметры рельефа рабочей поверхности, формирующегося в процессе шлифования (число режущих зерен, расстояние между зернами и относительная опорная площадь).

2. Рассчитаны величины составляющих силы резания, впервые связанные с текущим изменением параметров рельефа шлифовальных кругов разных характеристик при различных режимах резания.

3. Установлены расчетные зависимости критических величин толщины срезов, формируемых режущими зернами, с режимами шлифования, приводящими к интенсивному износу (осыпанию) шлифовальные круги разных характеристик.

4. Выведена зависимость изменения подачи в конце цикла шлифования от требуемой шероховатости обрабатываемой поверхности детали, с учетом текущего изменения шероховатости на протяжении всего цикла.

5. Разработана методика расчетного построения паспортов эксплуатационных показателей шлифовальных кругов разных характеристик при шлифовании различных деталей (разных размеров и точности; разных шероховатостей из различных сталей) путем определения диапазона подач, обеспечивающих наиболее производительную и экономичную обработку.

6. Использование паспортов эксплуатационных показателей шлифовальных кругов на машиностроительных заводах со средне- и мелкосерийным типом производства позволило сократить номенклатуру шлифовальных кругов за счет исключения из потребления кругов с близкими величинами эксплуатационных показателей, а также в полной мере использовать наиболее производительных режимов резания для различных деталей.

Список печатных работ

1. Исаков Д.В., Выбойщик А.В. Задачи паспортизации шлифовальных кругов //Прогрессивные технологии в машиностроении. – Челябинск: ЧГТУ, 1996. – С. 46-48.
2. Исаков Д.В. Моделирование рельефа рабочей поверхности шлифовального круга //Прогрессивные технологии в машиностроении. – Челябинск: ЧГТУ, 1996. – С. 48-52.
3. Исаков Д.В. Разработка методики оценки эксплуатационных свойств шлифовальных кругов //Тезисы к II-й Международной конференции “Машиностроение. Прогрессивные технологии”. - Челябинск, 1997. - С.48-49.
4. Исаков Д.В. Повышение точности расчета параметров автоматических циклов шлифования //Прогрессивные технологии в машиностроении. – Челябинск: ЧГТУ, 1997. – С. 152-155.
5. Исаков Д.В. Разработка методики определения шероховатости шлифуемой поверхности, достигаемой на этапе выхаживания, при автоматическом цикле шлифования //Прогрессивные технологии в машиностроении. – Челябинск: ЧГТУ, 1998. – С. 110-114.
6. Исаков Д.В. Проектирование эффективных циклов шлифования с учетом эксплуатационных возможностей шлифовального круга //Тезисы к I-ой Международной конференции “Машиностроение. Прогрессивные технологии”. - Челябинск, 1998. - С.48-49.
7. Исаков Д.В., Давыдов К.В. Автоматизированный стенд для измерения эксплуатационных показателей шлифовальных кругов ЧГТУ. – Челябинск, 1996. – 5С. - Деп. в ВИНТИ (15.12.96 № 3629-В96).
8. Исаков Д.В., Давыдов К.В. Формирование эксплуатационных показателей эксплуатационных свойств шлифовальных кругов ЧГТУ. – Челябинск, 1996. – 4С. - Деп. в ВИНТИ (15.12.96 № 3631-В96).

9. Исаков Д.В., Давыдов К.В. Тиражирование эксплуатационных показателей эксплуатационных свойств шлифовальных кругов с помощью карт шлифования ЧГТУ. – Челябинск, 1996. – 5С. - Деп. в ВИНТИ (15.12.96 № 3630-В96).

Исаков Денис Владиславович

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ
ОПЕРАЦИЙ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ**

Специальность 05.02.08 – «Технология машиностроения»

АВТОРЕФЕРАТ

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

Издательство Южно-Уральского государственного университета

ИД №00200 от 28.09.99. Подписано в печать 13.11.2000. Формат
60×84 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1.39 Уч.-изд. л. 1.
Тираж 80 экз. Заказ 446/470

УОП Издательства. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И.Ленина, 76.