

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ
РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ
НА ОПЕРАЦИЯХ НАРУЖНОГО
И ВНУТРЕННЕГО ШЛИФОВАНИЯ**

Электронные методические указания к лабораторным работам

САМАРА
Издательство СГАУ
2013

УДК СГАУ: 681.1(075.8)
О-624

Составители Д. Л. Скуратов, Е. А. Буланова, В. М. Опарин

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н. Д. Проничев

Определение рациональных условий обработки на операциях наружного и внутреннего шлифования [Электронный ресурс] электрон метод. указания к лаб. работам / сост. Д. Л. Скуратов, Е. А. Буланова, В. М. Опарин; М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (5,19 Мбайт). - Самара, 2013. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

В электронных методических указаниях представлены математическая модель и программа расчета для определения рациональных условий обработки цилиндрических и конических поверхностей на операциях круглого наружного и внутреннего шлифования заготовок методом продольной подачи.

Электронные методические указания предназначены для студентов механических факультетов, обучающихся по направлению 160700.65 – «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» по дисциплине «Обработка конструкционных материалов» в 6 семестре и для студентов обучающихся по специальности 151001.65 – «Технология машиностроения» по дисциплине «Моделирование и оптимизация технологических процессов» 9 семестр

Разработано на кафедре механической обработки материалов.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2013

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы – закрепление теоретических знаний в области определения рациональных условий обработки при круглом наружном и внутреннем шлифовании заготовок методом продольной подачи, а также получение практических навыков расчета режимов резания.

Задачи:

- ознакомиться с математической моделью для определения рациональных условий обработки при круглом наружном и внутреннем шлифовании методом продольной подачи;
- ознакомиться с методикой и программой расчета режимов резания;
- приобрести практические навыки определения наивыгоднейших режимов резания при круглом наружном и внутреннем шлифовании цилиндрических и конических поверхностей заготовок методом продольной подачи.

2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить инструкцию по технике безопасности при выполнении лабораторной работы.
2. Изучить методические указания по выполнению данной лабораторной работы.
3. Ознакомиться с математической моделью, предназначенной для определения рациональных условий обработки при круглом наружном и внутреннем шлифовании цилиндрических и конических поверхностей заготовок методом продольной подачи.
4. Ознакомиться с методикой и программой расчета режимов резания при шлифовании.
5. Для обработки наружной и внутренней поверхностей заготовки, указанных преподавателем, определить наивыгоднейшие условия резания.
6. Провести обработку заготовки и оценить заданные параметры качества.
7. Оформить отчет по работе.

3. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В РАБОТЕ

Программное обеспечение:

– авторская программа для определения рациональных условий обработки на операциях круглого наружного и внутреннего шлифования заготовок методом продольной подачи.

Металлорежущее оборудование:

– универсальные круглошлифовальные, кругло- и внутришлифовальные станки.

Абразивные режущие инструменты:

– шлифовальные круги прямого профиля (тип 1) для круглого наружного шлифования;

– шлифовальные круги для круглого внутреннего шлифования: прямого профиля (тип 1) и чашечные цилиндрические (тип 6).

Средства измерений:

– штангенциркуль, гладкие микрометры и индикаторный нутромер для измерения диаметров заготовки;

– тахометр для определения числа оборотов заготовки;

– автоматизированный профилометр-профилограф модели БВ-7669, для контроля шероховатости обработанных поверхностей.

4. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ ПРИ КРУГЛОМ НАРУЖНОМ И ВНУТРЕННЕМ ШЛИФОВАНИИ МЕТОДОМ ПРОДОЛЬНОЙ ПОДАЧИ

Для решения задачи научно-обоснованного определения рациональных условий обработки на операциях круглого наружного и внутреннего шлифования цилиндрических и конических поверхностей различных заготовок методом продольной подачи необходимо выбрать целевую функцию, технические ограничения и на их базе разработать математическую модель, позволяющую получить рациональные режимы резания при различных вариантах управляемых параметров.

В данной лабораторной работе представлена линейная математическая модель, позволяющая осуществить оптимизацию в детерминированной постановке, при которой действие возмущающих парамет-

ров во внимание не принимается. Задача по определению рациональных условий обработки сводится к задаче линейного программирования.

4.1. ВЫБОР ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Чаще всего при определении рациональных условий обработки на ранее указанных операциях, то есть характеристики инструмента и его геометрии, режима резания, СОТС и т.д., в качестве целевой функции принимается себестоимость одной операции. При этом переменная доля себестоимости операции при шлифовании одним кругом определяется по формуле

$$C = t_0 E + \frac{t_c}{Q} E + \frac{\mathcal{E}_u}{Q},$$

где t_0 - основное технологическое (машинное) время, мин; E - себестоимость одной минуты работы станка и станочника, руб.; t_c - время, затрачиваемое на снятие изношенного инструмента, установку нового и подналадку станка, мин; \mathcal{E}_u - затраты, связанные с эксплуатацией инструмента за период его стойкости, руб.; Q - количество деталей обработанных за период стойкости, шт.

При правильном построении производственного процесса определение рациональных условий обработки на операциях круглого наружного и внутреннего шлифования должно основываться на экономическом периоде стойкости инструмента. При использовании в расчетах экономических периодов стойкости режимы резания, обеспечивающие наименьшее время обработки, будут одновременно и наиболее экономичными [2]. Поэтому в качестве целевой функции при круглом наружном и внутреннем шлифовании заготовок методом продольной подачи целесообразно использовать уравнение, определяющее машинное время обработки.

Исходя из ранее изложенного, уравнение целевой функции будет иметь вид:

$$f_{ш} = \frac{l_m A}{n_3 S_{np} S_x}, \quad (4.1)$$

где A - припуск на обработку (на сторону), мм; l_m - длина пути шлифовального круга в направлении продольной подачи, мм; n_3 - частота

вращения заготовки (детали¹), об/мин; S_{np} - продольная подача, мм/об; S_x - поперечная подача на один ход стола, мм/ход; n - число оборотов заготовки, об/мин.

Большинство деталей, в частности аэрокосмической техники, работают при высоких давлениях, температурах и знакопеременных нагрузках, поэтому к качеству обработки этих деталей особенно на окончательных операциях предъявляются повышенные требования. В связи с ранее сказанным, на операции круглого наружного и внутреннего шлифования должны накладываться определенные технические ограничения.

Ограничение, связанное со стойкостью шлифовального круга

Наиболее существенными факторами, влияющими на период стойкости шлифовального круга, являются его размеры, конструкция, характеристика, марка обрабатываемого материала и режимы резания. Для получения технического ограничения, связанного со стойкостью шлифовального круга при круглом наружном и внутреннем шлифовании, была использована формула, приведенная в работе [11]:

$$n_3^2 S_{np}^2 (1000 S_x)^2 \leq \frac{C_m \cdot 318000^2 B_\kappa^2}{T_\kappa D_3^{q_m}} k_1^T k_2^T k_3^T, \quad (4.2)$$

где n_3 - частота вращения заготовки, об/мин; S_{np} - продольная подача, мм/об; S_x - поперечная подача на один ход стола, мм/ход; C_m - коэффициент, характеризующий условия, для которых определялся период стойкости шлифовального круга; B_κ - высота круга, мм; T_κ - период стойкости шлифовального круга, мин; D_3 - диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, мм; q_m - показатель степени, характеризующий интенсивность влияния диаметра детали на период стойкости круга; k_1^T - коэффициент, учитывающий влияние марки обрабатываемого материала на период стойкости круга; k_2^T, k_3^T - коэффициенты, учитывающие соответственно влияние размера и конструкции круга на его период стойкости.

¹ В нормативной и справочной литературе по механической обработке и на практике заготовку часто именуют деталью.

Период стойкости шлифовальных кругов с прерывистой режущей поверхностью (прерывистых, композиционных, комбинированных) в 1,5..3 раза выше периода стойкости кругов со сплошной рабочей поверхностью [11]. Поэтому введение в формулу (4.2) коэффициента k_3^T в значительной мере повышает точность определения периода стойкости абразивных кругов, используемых при круглом шлифовании заготовок.

В неравенстве (4.2) и последующих технических ограничениях для удобства вычислений принято вместо $S_x \rightarrow 1000S_x$, с соответствующими поправками в правой части.

Ограничение, связанное с мощностью станка

При шлифовании, так же как и при других видах механической обработки, проводимой на металлорежущих станках, необходимо, чтобы эффективная мощность $N_{эф}$ не превышала мощности, подводимой к шпинделю шлифовальной бабки станка, то есть выполнялось условие

$$N_{эф} \leq N_{ин шб} , \quad (4.3)$$

где $N_{эф}$ - эффективная мощность, кВт; $N_{ин шб}$ - мощность, подводимая к шпинделю шлифовальной бабки станка, кВт.

Для определения эффективной мощности при круглом наружном и внутреннем шлифовании методом продольной подачи за основу использованы формулы, приведенные в работе [7]. В уточненном и общем виде эти формулы можно представить как [11]

$$N_{эф} = C_N (\nu_3 S_{np} S_x)^{0,7} D_3^{0,25} B_k^{0,25} k_1^N k_2^N k_3^N , \quad (4.4)$$

где C_N - коэффициент, характеризующий условия обработки при круглом наружном и внутреннем шлифовании, для которых была получена вышеприведенная эмпирическая зависимость; k_1^N, k_2^N, k_3^N - поправочные коэффициенты, учитывающие соответственно влияние изменения твердости шлифовального круга, марки обрабатываемого материала и конструкции круга на эффективную мощность.

Использование на операциях шлифования абразивных кругов специальных конструкций (прерывистых, композиционных, комбинированных) взамен сплошных позволяет уменьшить эффективную мощность шлифования на 20...25%.

Подставив в неравенство (4.3) формулу (4.4) и $N_{ш\delta} = N_{эд ш\delta} \eta$, а также учитывая, что $v_3 = \frac{\pi D_3 n_3}{1000}$, после несложного преобразования и решения относительно $n_3 S_{np} S_x$ второе техническое ограничение получим в следующем виде:

$$n_3^{0,7} S_{np}^{0,7} (1000 S_x)^{0,7} \leq \frac{318000^{0,7} N_{эд ш\delta} \eta}{C_N D_3^{0,95} B_K^{0,25} k_1^N k_2^N k_3^N}, \quad (4.5)$$

где $N_{эд ш\delta}$ - мощность электродвигателя шлифовальной бабки станка, кВт; η - КПД механизма шлифовальной бабки.

Ограничение, связанное с точностью обработки

Требуемая точность обработки поверхности заготовки обеспечивается условием [5]

$$\frac{P_y}{j} \leq a_n \delta_p, \quad (4.6)$$

где P_y - радиальная составляющая силы резания, Н; $\frac{1}{j}$ - податливость технологической системы, мм/Н; δ_p - допуск на размер обрабатываемой поверхности, мм; a_n - коэффициент, показывающий, в какую часть допуска должна укладываться погрешность, вызванная деформацией технологической системы. Для чернового и получистового шлифования при консольном закреплении заготовки $a_n = 0,1$, а для чистового шлифования, соответственно, $a_n = 0,05$. Для чернового, получистового и чистового шлифования при закреплении в центрах или в патроне с поджатием центром задней бабки $a_n = 0,1 \dots 0,15$ [6]; для расчета по допускаемой форме допуск на форму цилиндрических поверхностей заготовок $\delta_\phi = 0,3 \delta_p$, при уровне относительной геометрической точности А (ГОСТ 24643-81).

Податливость технологической системы может быть определена по формуле $\frac{1}{j} = \left(\frac{1}{j_{заг}} + \frac{1}{j_{см}} + \frac{1}{j_{опр}} \right)$, тогда неравенство (4.6) примет вид

$$P_y \left(\frac{1}{j_{заг}} + \frac{1}{j_{см}} + \frac{1}{j_{опр}} \right) \leq a_n \delta, \quad (4.7)$$

где $\frac{1}{j_{заг}}$, $\frac{1}{j_{см}}$, $\frac{1}{j_{опр}}$ - податливость соответственно заготовки, станка и оправки, на которую устанавливается круг при круглом внутреннем шлифовании (или шпинделя внутришлифовальной бабки при установке круга непосредственно на шпиндель), мм/Н.

Для расчета податливости заготовки при круглом шлифовании может использоваться та же самая зависимость, что и при точении. Причем при закреплении заготовки в патроне и в центрах значения коэффициента k_1^j для процессов точения и шлифования – одинаковы [4]. В случае закрепления заготовки в самозажимном поводковом патроне с поджатием центром задней бабки коэффициент k_1^j принимает значение, равное 140 [6].

Для расчета податливости станка могут быть использованы следующие, полученные авторами работы [11], зависимости:

- для станков с неповоротными шлифовальной и передней бабками

$$\frac{1}{j_{см}} = 0,00007292 k_2^j 1,5 \sqrt{\frac{185}{H_u}};$$

- для станков с поворотными шлифовальной и передней бабками

$$\frac{1}{j_{см}} = 0,0001429 k_2^j 1,3 \sqrt{\frac{185}{H_u}},$$

при закреплении заготовки в центрах и в патроне с поджатием центром задней бабки станка значения коэффициента k_2^j при точении и шлифовании не отличаются, при закреплении заготовки в патроне величина k_2^j подсчитывается по той же самой формуле, что и для процесса точения.

Податливость оправки (или шпинделя внутришлифовальной бабки) рассчитывалась по формуле

$$\frac{1}{j_{опр}} = \frac{l_{опр}^3}{3J_{опр} E_{опр}},$$

где $l_{опр}$ - длина оправки (или вылет шпинделя), мм; $E_{опр}$ - модуль продольной упругости материала оправки (шпинделя), МПа; $J_{опр} = 0,05d_{опр}^4$ - момент инерции поперечного сечения оправки (шпинделя), мм⁴.

При круглом наружном шлифовании заготовок планшайба с кругом без использования каких-либо оправок непосредственно устанавливается на шпиндель шлифовальной бабки, поэтому $\frac{1}{J_{опр}} = 0$. При

круглом внутреннем шлифовании поверхностей заготовок жесткость оправки, как правило, оказывается существенно ниже других компонентов технологической системы и поэтому определяет величину допустимой подачи, то есть в этом случае можно считать

$$\frac{1}{J_{заг}} + \frac{1}{J_{ст}} = 0.$$

При шлифовании большинства материалов различными кругами радиальная составляющая силы резания всегда больше главной составляющей, а отношение $k_{ш} = \frac{P_y}{P_z}$ чаще всего находится в интервале

от 2,2 до 3,3 [9]. Отношение сил $\frac{P_y}{P_z}$ является наиболее стабильным

силовым показателем при шлифовании, поэтому его достаточно часто используют для оценки режущей способности кругов. С уменьшением этого отношения снижаются затраты энергии на трение и в целом на работу разрушения металла.

Главную составляющую силы резания можно определить из формулы для определения эффективной мощности при шлифовании [10]:

$$P_z = \frac{1000N_{эф}}{v_k},$$

где P_z - главная составляющая силы резания, Н; v_k - скорость круга, м/с.

Тогда формула для определения радиальной составляющей силы резания будет иметь вид

$$P_y = \frac{1000N_{\text{эф}}}{v_k} k_{\text{ш}},$$

где P_y - радиальная составляющая силы резания, Н.

Величину коэффициента $k_{\text{ш}}$ можно рассчитать по приближенной формуле [1]

$$k_{\text{ш}} = 5 - \frac{50\rho_3^{0,7}}{v_k^{0,53}},$$

где ρ_3 - радиус закругления вершины зерна, мм.

Подставив формулу для определения силы P_y в неравенство (4.7), а затем в полученное неравенство последовательно формулу (4.4) и формулу для определения скорости вращения заготовки v_3 , после соответствующего преобразования и решения относительно $n_3 S_{np} S_x$ получим третье техническое ограничение

$$\begin{aligned} n_3^{0,7} S_{np}^{0,7} (1000S_x)^{0,7} &\leq \\ &\leq \frac{318000^{0,7} v_k a_n \delta_p}{1000C_N \left[\left(\frac{1}{j_{заг}} + \frac{1}{j_{см}} + \frac{1}{j_{онп}} \right) \right] D_3^{0,95} B_k^{0,25} k_1^N k_2^N k_3^N k_{ш}}. \end{aligned} \quad (4.8)$$

Ограничение, связанное с предельно допустимой шероховатостью обрабатываемой поверхности

При круглом наружном и внутреннем шлифовании с продольной подачей среднее арифметическое отклонение профиля поверхности Ra может быть определено по формуле [11], полученной на основании анализа и обобщения имеющихся данных и собственных исследований авторов:

$$Ra = C_{Ra} \left(\frac{v_3}{60v_k} \right)^{0,5} \left(\frac{S_x}{D_k} \right)^{0,25} \left(\frac{S_{np}}{B_k} \right)^{0,5} k_{\text{общ}}^{0,5} k_{Ra} d_{\text{зеп}}^{0,5} n^{m_{Ra}}, \quad (4.9)$$

где Ra - среднее арифметическое отклонение профиля, мкм; C_{Ra} , m_{Ra} - коэффициент и показатель степени, зависящие от марки обрабатываемого материала и вида шлифования; D_k - диаметр круга, мм; $k_{\text{общ}}$ - коэффициент, учитывающий влияние марки абразивного материала,

поверхностной пористости [8] и структуры круга, а также условий его правки на формирование шероховатости поверхности; при обработке сталей и сплавов электрокорундовыми кругами твердостью МЗ...СМ2 и структурой 6...8 $k_{общ}$ можно принимать равным 0,2942, при обработке титановых сплавов кругами из карбида кремния вышеуказанной твердости и структуры $k_{общ}$ можно принимать, соответственно, равным 0,2148; k_{Ra} - коэффициент, учитывающий влияние конструкции круга на шероховатость поверхности; $d_{зер}$ - размер зерна, мм; n - число ходов выхаживания.

После несложного преобразования и решения формулы (4.9) относительно $n_3 S_{np} S_x$, учитывая, что $v_3 = \frac{\pi D_3 n_3}{1000}$, четвертое техническое ограничение примет вид

$$n_3^{0,5} S_{np}^{0,5} (1000 S_x)^{0,25} \leq \frac{Ra (60 \cdot 1000 v_{кв} B_{к})^{0,5} (1000 D_{к})^{0,25}}{C_{Ra} (\pi D_3 k_{общ} d_{зер})^{0,5} k_{Ra} n^{m_{Ra}}}. \quad (4.10)$$

Ограничение, связанное с температурой шлифования

Тепловые явления, сопровождающие процесс шлифования материалов, могут оказывать решающее влияние как на протекание самого процесса, так и на качество шлифованных поверхностей. Анализ исследований, проведенный многими авторами [3, 10, 12, 13 и др.], показывает, что физико-механическое состояние поверхностного слоя шлифованных деталей определяется не только контактной температурой, а всем пространственно-временным температурным полем. Поэтому при решении задач, связанных с определением рациональных условий обработки, наличие технического ограничения по температуре, в качестве которой в первом приближении может использоваться температура, соответствующая точке A_{C_1} - аллотропического изменения обрабатываемого материала, является обязательным, но не достаточным условием. Нахождение области рациональных условий обработки (конструкции и характеристики круга, режима резания и т.д.), исключающих возможность возникновения структурно-фазовых превращений в поверхностном слое заготовок при шлифовании, предполагает использование результатов исследования кинетики тепловых процессов и метастабильных диаграмм состояния материалов.

Исходя из вышесказанного, должно выполняться условие

$$\theta_{\max} \leq \theta_{кр}, \quad (4.11)$$

где θ_{\max} и $\theta_{кр}$ - соответственно максимальная и критическая температуры в зоне контакта круга с заготовкой, °С.

Максимальную температуру в зоне контакта круга с заготовкой можно определить по формуле

$$\theta_{\max} = \theta_0 + \Delta\theta_{\max}, \quad (4.12)$$

где θ_0 - начальная температура поверхности заготовки, °С; $\Delta\theta_{\max}$ - максимальное приращение температуры поверхности заготовки в зоне контакта за счет тепла, поступающего в заготовку при шлифовании, °С.

Подставив формулу (4.12) в неравенство (4.11), получим техническое ограничение, связанное с температурой шлифования:

$$\Delta\theta_{\max} \leq \theta_{кр} - \theta_0. \quad (4.13)$$

Максимальное приращение температуры поверхности заготовки в зоне контакта можно определить по формуле, приведенной в работе [10]:

$$\Delta\theta_{\max} = \frac{2q}{\lambda} \sqrt{\frac{aL_k}{\pi v_3}}, \quad (4.14)$$

где q - плотность теплового потока, Вт/м²; λ - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); a - коэффициент температуропроводности, м²/с; L_k - длина дуги контакта круга с заготовкой (деталью), м; v_3 - скорость вращения заготовки, м/с.

Независимо от используемой системы единиц физических величин (СИ или МКС) числовое значение приращения температуры одинаково, так как по размеру градус Цельсия равен градусу Кельвина.

При шлифовании заготовок плотность теплового потока может быть определена по следующей формуле:

$$q = \frac{N_{\text{эф}}}{F_k} k_Q = \frac{N_{\text{эф}}}{L_k \cdot B_k} k_Q, \quad (4.15)$$

где q - плотность теплового потока, Вт/м²; $N_{\text{эф}}$ - эффективная мощность, Вт; F_k - площадь контакта круга с заготовкой, м²; L_k - длина дуги контакта круга и заготовки, м (формулы для определения L_k при различных видах шлифования приведены в работе [5]); B_k - высота

шлифовального круга, м; k_Q - коэффициент, показывающий, какая доля выделившейся при шлифовании тепловой мощности поступила в заготовку.

Учитывая, что мощность резания подсчитывается по эмпирической формуле (4.4), в которой значения D_3, B_K задаются в мм, то в формулах (4.14) и (4.15) значения L_K и B_K также целесообразно задавать в мм, введя соответствующие переводные коэффициенты. Тогда формула (4.14) после подстановки в нее формул (4.15) и (4.4) с учетом, что

$$v_3 = \frac{\pi D_3 n_3}{60 \cdot 1000}, \text{ после преобразования примет вид}$$

$$\Delta\theta = \frac{8,729 \cdot 10^7 C_N D_3^{0,45} n_3^{0,2} S_{np}^{0,7} S_x^{0,7} a^{0,5} k_Q k_1^N k_2^N k_3^\theta}{\lambda B_K^{0,75} L_K^{0,5}}, \quad (4.16)$$

где k_3^θ - коэффициент, учитывающий влияние конструкции шлифовального круга на изменение температуры в зоне контакта круга с деталью.

При шлифовании заготовок кругами с прерывистой режущей поверхностью происходит существенное снижение максимальной температуры в зоне контакта по сравнению с температурой, имеющей место при шлифовании сплошными кругами. Это обусловлено, во-первых, уменьшением эффективной мощности, затрачиваемой на процесс резания, во-вторых, периодическим прерыванием поступающего в заготовку теплового потока и, в-третьих, отводом тепла из зоны резания смазывающе-охлаждающими элементами композиционных и комбинированных кругов благодаря их высокой теплопроводности. Как видно, в формуле (4.16) отсутствует коэффициент k_3^N (см. формулу 4.4), его влияние на снижение температуры учитывает коэффициент k_3^θ .

Подставив формулу (4.16) в неравенство (4.13), предварительно выразив длину дуги контакта круга с заготовкой L_K для круглого наружного и внутреннего шлифования по формулам Е.Н. Маслова [5], после соответствующего преобразования и решения данного неравенства относительно $n_3 S_{np} S_x$ получим пятое техническое ограничение

$$n_z^{0,2} S_{np}^{0,7} (1000S_x)^{0,45} \leq \frac{C_\theta (\theta_{кр} - \theta_0) \lambda B_\kappa^{0,75} D_\kappa^{0,25}}{D_3^{0,2} a^{0,5} k_Q k_1^N k_2^N k_3^\theta}, \quad (4.17)$$

где для круглого наружного шлифования $C_\theta = \frac{1,2328 \cdot 10^{-6}}{(D_\kappa + D_3)^{0,25}}$, а для

круглого внутреннего $C_\theta = \frac{1,1105 \cdot 10^{-6}}{(D_3 - D_\kappa)^{0,25}}$.

Ограничения, связанные с кинематическими возможностями шлифовального станка

При круглом наружном и внутреннем шлифовании заготовки частота ее вращения, продольная и поперечная подачи должны быть ограничены, соответственно, наибольшим и наименьшим числом оборотов шпинделя (планшайбы) передней бабки, наибольшей и наименьшей продольной и поперечной подачами, приведенными в паспорте станка. Тогда технические ограничения, обусловленные кинематическими возможностями выбранного станка, будут иметь вид:

- шестое техническое ограничение

$$n_z \geq n_{cm \min}, \quad (4.18)$$

где $n_{cm \min}$ - минимальная частота вращения шпинделя (планшайбы) передней бабки станка, об/мин;

- седьмое техническое ограничение

$$n_z \leq n_{cm \max}, \quad (4.19)$$

где $n_{cm \max}$ - максимальная частота вращения шпинделя (планшайбы) передней бабки станка, об/мин;

- восьмое техническое ограничение

$$S_{np} \geq S_{np \text{ cm min}}, \quad (4.20)$$

где $S_{np \text{ cm min}}$ - минимальная продольная подача станка, мм/об;

- девятое техническое ограничение

$$S_{np} \leq S_{np \text{ cm max}}, \quad (4.21)$$

где $S_{np \text{ cm max}}$ - максимальная продольная подача станка, мм/об;

- десятое техническое ограничение

$$1000S_x \geq 1000S_{x \text{ cm min}}, \quad (4.22)$$

где $S_{x \text{ cm min}}$ - минимальная поперечная подача станка, мм/ход;

- одиннадцатое техническое ограничение

$$1000S_x \leq 1000S_{x \text{ cm max}} \quad (4.23)$$

где $S_{\text{пр cm max}}$ - максимальная поперечная подача станка, мм/ход.

4.2. ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Преобразуем полученные выше неравенства, связывающие технические ограничения с элементами режима резания, а также целевую функцию, в линейные ограничения-неравенства и линейную целевую функцию. Решение полученной системы линейных уравнений при заданных определяющих и управляемых параметрах позволит на стадии проектирования технологического процесса определить рациональные условия обработки для операций круглого наружного и внутреннего шлифования цилиндрических и конических поверхностей заготовок методом продольной подачи и гарантированно обеспечить при этом заданное значение конструктивных параметров.

Для получения системы линейных ограничений-неравенств и линейной целевой функции, моделирующих процессы круглого наружного и внутреннего шлифования заготовок методом продольной подачи, прологарифмируем зависимости (4.2), (4.5), (4.8), (4.10), (4.17), (4.18) - (4.23) и (4.1), которые после введения обозначений будут иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} 2x_1 + 2x_2 + 2x_3 \leq b_1; \\ 0,7x_1 + 0,7x_2 + 0,7x_3 \leq b_2; \\ 0,7x_1 + 0,7x_2 + 0,7x_3 \leq b_3; \\ 0,5x_1 + 0,5x_2 + 0,25x_3 \leq b_4; \\ 0,2x_1 + 0,7x_2 + 0,45x_3 \leq b_5; \\ x_1 \geq b_6; \\ x_1 \leq b_7; \\ x_2 \geq b_8; \\ x_2 \leq b_9; \\ x_3 \geq b_{10}; \\ x_3 \leq b_{11}; \\ f_0 = c_0 - x_1 - x_2 - x_3. \end{array} \right. \quad (4.24)$$

$$\text{где} \quad x_1 = \ln n_3; \quad x_2 = \ln S_{np}; \quad x_3 = \ln(1000S_x);$$

$$b_1 = \ln \frac{C_m \cdot 318000^2 B_\kappa^2}{T_\kappa D_3^{q_m}} k_1^T k_2^T k_3^T; \quad b_2 = \ln \frac{318000^{0,7} N_{\text{эдшб}} \eta}{C_N D_3^{0,95} B_\kappa^{0,25} k_1^N k_2^N k_3^N};$$

$$b_3 = \ln \frac{318000^{0,7} \nu_\kappa a_n \delta_p}{1000 C_N \left(\frac{1}{j_{\text{заг}}} + \frac{1}{j_{\text{см}}} + \frac{1}{j_{\text{онп}}} \right) D_3^{0,95} B_\kappa^{0,25} k_1^N k_2^N k_3^N k_u};$$

$$b_4 = \ln \frac{Ra(60 \cdot 1000 \nu_\kappa B_\kappa)^{0,5} (1000 D_\kappa)^{0,25}}{C_{Ra} (\pi D_3 k_{\text{обц}} d_{\text{зеп}})^{0,5} k_{Ra} n^{mRa}};$$

$$b_5 = \ln \frac{C_\theta (\theta_{\text{кр}} - \theta_0) \lambda B_\kappa^{0,75} D_\kappa^{0,25}}{D_3^{0,2} a^{0,5} k_0 k_1^N k_2^N k_3^\theta};$$

$$b_6 = \ln n_{\text{см min}}; \quad b_7 = \ln n_{\text{см max}}; \quad b_8 = \ln S_{np \text{ см min}};$$

$$b_9 = \ln S_{np \text{ см max}}; \quad b_{10} = \ln 1000 S_{x \text{ см min}}; \quad b_{11} = \ln 1000 S_{x \text{ см max}};$$

$$f_0 = \ln f_u; \quad c_0 = \ln(1000 l_u A).$$

Полученная система линейных ограничений-неравенств (4.24) и линейная функция f_0 представляют собой математическую модель для определения рациональных условий резания на операциях круглого наружного и внутреннего шлифования цилиндрических и конических поверхностей заготовок, осуществляемых методом продольной подачи.

Решение задачи может быть упрощено за счет приведения системы (4.24) с тремя неизвестными к системе с двумя неизвестными, в результате чего аналитическое и графическое решение задачи осуществляется в двухмерном пространстве. Для проведения преобразований выразим x_1 из ограничения-неравенства, связанного с температурой шлифования:

$$x_1 = 5b_5 - 3,5x_2 - 2,25x_3,$$

и подставим его значение во все остальные неравенства системы (4.24). Выбор этого ограничения-неравенства обусловлен тем, что при шлифовании именно температура в зоне контакта круга с заготовкой наиболее часто является основным ограничивающим фактором, не

позволяющим вести формообразование поверхностей на более производительных режимах из-за возможности образования структурных и фазовых изменений в поверхностном слое обрабатываемой заготовки. В результате получим новую систему, содержащую два неизвестных x_2 и x_3 :

$$\left\{ \begin{array}{l} -5x_2 - 3x_3 \leq b_1 - 10b_5; \\ -1,75x_2 - 0,875x_3 \leq b_2 - 3,5b_5; \\ -1,75x_2 - 0,875x_3 \leq b_3 - 3,5b_5; \\ -1,25x_2 - 0,875x_3 \leq b_4 - 2,5b_5; \\ -3,5x_2 - 2,25x_3 \geq b_6 - 5b_5; \\ -3,5x_2 - 2,25x_3 \leq b_7 - 5b_5; \\ -3,5x_2 - 2,25x_3 \geq b_8 - 5b_5; \\ -3,5x_2 - 2,25x_3 \leq b_9 - 5b_5; \\ x_2 \geq b_{10}; \\ x_2 \leq b_{11}; \\ x_3 \geq b_{12}; \\ x_3 \leq b_{13}; \end{array} \right. \quad (4.25)$$

$$f_0 = c_0 - 5b_5 + 2,5x_2 + 1,25x_3.$$

Так как в условиях конкретной задачи $c_0 - 5b_5$ является величиной постоянной, то f_0 достигнет минимального значения в том случае, когда примут минимально допустимые значения неизвестные x_2 и x_3 , удовлетворяющие системе ограничений (4.24).

Следует отметить, что использование данной модели для определения рациональных условий обработки конических поверхностей возможно только для случаев, когда изменение скорости вращения заготовки не превышает 15 %.

5. ПРОГРАММА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ

На основе математической модели разработана программа для определения рациональных режимов обработки на операциях круглого

наружного и внутреннего шлифования заготовок. В качестве средства разработки выбрана среда программирования Delphi в сочетании с СУБД Firebird. Данное решение позволяет снизить стоимость эксплуатации программы, так как Firebird является системой управления базами данных с открытым кодом, что разрешает её бесплатное неограниченное использование. Применение этой системы обусловлено необходимостью хранения значительного количества упорядоченных данных, таких как характеристик материалов, технических характеристик станков, параметров режущего инструмента и т.д.

Программа написана для операционной системы Microsoft Windows, как наиболее распространенной в данный момент системы.

Система уравнений, описывающая рассматриваемый процесс, решается на ЭВМ симплекс-методом, т.е. совместно решаются все возможные пары линейных неравенств. Каждое ограничение описывает линию на плоскости. Совместное решение системы из двух таких уравнений дает точку пересечения этих двух линий. Таким образом, получают точки всех вершин области оптимальных решений. Далее из этого множества точек удовлетворяющих всем ограничениям выбирается точка, соответствующая минимуму целевой функции.

5.1. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

В программе можно выделить три основных блока: ввод исходных данных для расчета, просмотр результатов расчета и его графической интерпретации, средства редактирования базы данных.

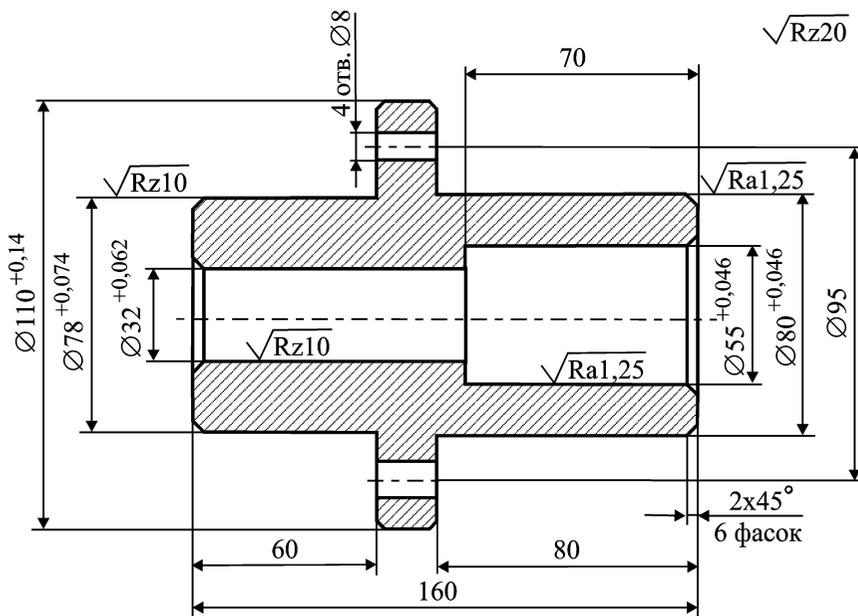
Исходные параметры разделены на три логические группы:

- параметры, относящиеся к шлифовальному станку, на котором производится обработка;
- параметры, относящиеся к абразивному кругу, который используется для выполнения операции;
- параметры, относящиеся к заготовке.

Ввод исходных данных существенно упрощён за счёт автоматической загрузки из созданной базы данных различных параметров и коэффициентов, необходимых для решения задачи. В созданную базу данных внесены параметры и коэффициенты, позволяющие определить рациональные условия резания при обработке различных сталей, а также жаропрочных и титановых сплавов.

5.2. ПРИМЕР РАСЧЕТА РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

В качестве примера выполним расчет режимов резания для шлифования одной наружной и одной внутренней поверхностей втулки, выполненной из титанового сплава ВТ8, её эскиз представлен на рис. 1.



Неуказанные предельные отклонения размеров $\pm \frac{IT14}{2}$

Рис. 1. Эскиз втулки

Наружная поверхность $\varnothing 80$ мм

После запуска программы открывается вкладка ввода исходных данных «Данные для расчета», представленная на рис. 2.

На этой вкладке имеются окна для ввода исходных данных, определяющих характеристики станка, инструмента и заготовки.

В окне «Станок» в выпадающем списке оборудования выбираем станок, на котором будет выполняться обработка заготовки. В нашем случае это универсальный круглошлифовальный станок модели 3У131ВМ. При этом все его характеристики загружаются из базы

Данные для расчета

Станок

Модель	ЗУ13ТВ1
Нц, мм	185
Мощ, кВт	7.5
Мстп, об/мин	40
Мстк, об/мин	500

Абразивный круг

Конструкция круга

Слошшой

Геометрические параметры

Вк, мм 50

Дк, мм 600

Т, мин 15

Поправочные коэффициенты

K1T	0.7	K1N	0.9	K3elta	1
K2T	1	K2N	0.85		
K3T	1	K3N	1		

Характеристики круга

Марка абразива Карбид кремния

Зернистость 0.4

Твердость М3

Вид шлифования

Кругом наружное

Внутреннее шлифование

Укmax, м/с	40	Укmax, м/с	50
Дкmax, мм	32	Дкmax, мм	600
Вкmax, мм	25	Вкmax, мм	63
Дdmax, мм	200	Дdmax, мм	280
Лdmax, мм	125	Лdmax, мм	710
Еопр, МПа	200000		
допр, мм	20		
лопр, мм	20		

Заточка

Материал

Тип материала Титановые сплавы

Марка BT8

Состояние заготовки В парне

Вид закрепления Отожженное

Тета_кр, °С	600
Дз, мм	80
dз, мм	55
аз, мм	100
Ра, мкм	1.25
А, мм	0.15
deltа, мм	0.046
lш, мм	80
п	5

Е, МПа 11720

lambda, Вт/(м*К) 7.12

а, м*м/с 3.16E-6

TO 30

адс 0.1

Ста 600

mга -0.024

Кд 0.835

Применить

Рис. 2. Вкладка ввода исходных данных «Данные для расчета» при определении режима шлифования для обработки наружной поверхности Ø80 мм

данных автоматически. После чего выбирается вид шлифования: «Круглое наружное или «Круглое внутреннее».

В нашем случае это «Круглое наружное». Затем выбирается тип операции. Так как наружная поверхность обрабатывается по 8-му качеству точности, а шероховатость составляет $Ra = 1,25$ мкм, то укажем тип операции – «Получистовая». Затем переходим к окну «Абразивный инструмент» данной вкладки (см. рис. 2).

На этой вкладке вначале задаются основные параметры круга: его конструкция, марка абразивного материала, зернистость и твердость.

Для наружной обработки втулки выберем круг со сплошной рабочей поверхностью. Круги «Прерывистый», «Композиционный» и «Комбинированный» следует выбирать в том случае, если деталь является ответственной и после обработки шлифовочные прижоги на её поверхности должны полностью отсутствовать.

Так как втулка выполнена из титанового сплава ВТ8, то для её обработки следует использовать абразивный круг из карбида кремния зелёного или чёрного, причём лучше твердостью МЗ. Использование более твердых кругов может привести к возникновению шлифовочных прижогов, снижающих сопротивление усталости деталей. Учитывая, что шероховатость наружной поверхности составляет $Ra = 1,25$ мкм, размер абразивных зерен можно взять равным 0,40 мм. После чего указывается стойкость шлифовального круга, которая при круглом наружном шлифовании составляет 10...15 минут.

В этом же окне располагаются поправочные коэффициенты и показатели степеней, входящие в ограничения, связанные со стойкостью инструмента, мощностью станка и температурой шлифования. Данные коэффициенты загружаются из базы данных автоматически.

В последнюю очередь заполняется окно «Заготовка» (см. рис. 2).

В этом окне из выпадающего списка выбирается тип материала, а затем его марка. В нашем случае это титановый сплав ВТ8. При этом его физико-механические характеристики из базы данных загружаются автоматически. После чего указывается состояние заготовки, которое выбирается также из выпадающего списка, например, «Отожжённое».

Обработка заготовки может производиться при закреплении её в патроне, в центрах и в патроне с поджатием центром задней бабки. В

нашем случае шлифование наружной поверхности втулки $\varnothing 80$ мм с технологической точки зрения целесообразно выполнять в патроне. Поэтому при указании вида закрепления выберем – «В патроне». После чего вводятся необходимые геометрические параметры заготовки, указанные в данном окне, а именно: наружный диаметр обрабатываемой заготовки D_3 , внутренний диаметр заготовки d_3 , длина шлифования $l_{ш}$, длина заготовки l_3 , припуск на обработку на сторону A , допуск на размер обрабатываемой поверхности δ_p и шероховатость поверхности Ra . Эти параметры берутся с чертежа детали. Затем вводится допустимая критическая температура в зоне резания ($600^\circ C$) и указывается число ходов выхаживания n (3...5).

В этом же окне располагаются поправочные коэффициенты и показатели степеней, входящие в ограничения, связанные с точностью обработки и предельно допустимой шероховатостью обработанной поверхности.

После ввода всех исходных данных и нажатия кнопки «Применить» на экране монитора компьютера появляется главное диалоговое окно программы – «Оптимизация режимов при шлифовании», представленное на рис. 3. В левой части данного окна расположена таблица со значениями коэффициентов системы уравнений, а в правой части расположена графическая интерпретация решения этой системы, показывающая область возможных решений.

Напротив каждой строки в таблице с коэффициентами, в диалоговом окне «Оптимизация режимов резания», написано, к какому ограничению относится данная строка, а также указан цвет, которым будет отображаться ограничивающая прямая соответствующего технического ограничения. Программа позволяет учитывать не все ограничения, а лишь те, которые необходимы. После чего строится графическая интерпретация аналитического решения в виде области возможных значений режимов, из которых выбирается оптимальное значение. Пользователю предоставлены удобные средства для просмотра графического решения (перемещение области, изменение масштаба, мерцание выделенной прямой ограничения и т.д.).

Варьируя различными параметрами в окнах «Станок», «Абразивный круг» и «Заготовка», следует получить наиболее выгодные параметры для обработки указанной поверхности.

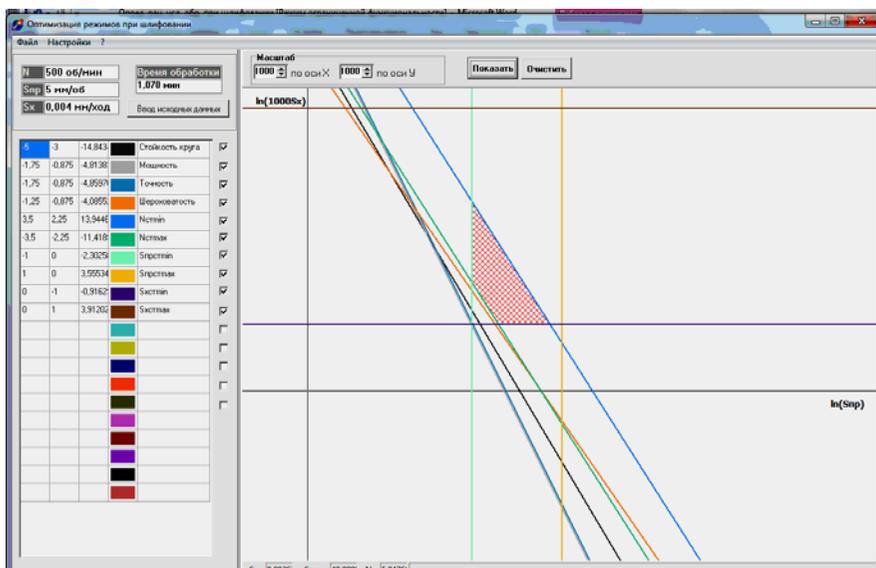


Рис. 3. Главное диалоговое окно «Оптимизация режимов при шлифовании» при определении режима резания для формообразования наружной поверхности $\varnothing 80$ мм

Внутренняя поверхность $\varnothing 55$ мм

Аналогичным образом определяются рациональные условия обработки и для шлифования отверстия $\varnothing 55$ мм. На рис. 4 и 5 приведены соответственно вкладка «Данные для расчета» с введенными исходными данными и главное диалоговое окно «Оптимизация режимов при шлифовании».

Также как и в предыдущем случае, варьируя различным оборудованием в окне «Станок» вкладки «Данные для расчета», а также параметрами в окнах «Абразивный круг» и «Заготовка» этой же вкладки, можно получить наиболее выгодные условия для обработки внутренней поверхности $\varnothing 55$ мм.

6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА, ВЫБРАННЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ

После назначения наиболее выгодных условий для формообразования наружной и внутренней поверхностей выполняется обработка

Станок: Данные для расчёта

Абразивный круг

Характеристики круга

Марка абразива: Карбид кремния

Зернистость: 0.4

Твёрдость: МЗ

Конструкция круга

Сплошной

Геометрические параметры

Вк, мм: 25

Дк, мм: 32

Т, мин: 10

Поправочные коэффициенты

К1Т: 0.7

К2Т: 1

К3Т: 1

К1N: 0.9

К2N: 0.85

К3N: 1

Корректирующая поправка

Корректирующая поправка: 1

Вид шлифования: Кругое внутреннее

Наружное шлифование

Укмах, м/с: 40

Дкмах, мм: 32

Вкмах, мм: 25

Ддмах, мм: 200

Лдмах, мм: 125

Еопр, МПа: 200000

допр, мм: 20

лопр, мм: 80

Вид закрепления: Стожевание

Тип материала: Титановые сплавы

Состояние заготовки: В патроне

Марка: BT8

Темп_кр, °C: 600

Дз, мм: 80

дз, мм: 55

З, мм: 100

Рв, мкН: 1.25

А, мм: 0.15

delta, мм: 0.046

ш, мм: 70

р: 5

Материал

Тип материала: Титановые сплавы

Марка: BT8

Sigmaв, МПа: 1125

Е, МПа: 117720

lambda, Вт/(м*К): 7.12

alpha, м*м/с: 3.16E-6

TO: 30

alpha: 0.1

Cra: 475

lma: -0.012

kg: 0.885

Применить

Рис. 4. Вкладка ввода исходных данных «Данные для расчёта» при определении режима шлифования для обработки внутренней поверхности Ø55 мм

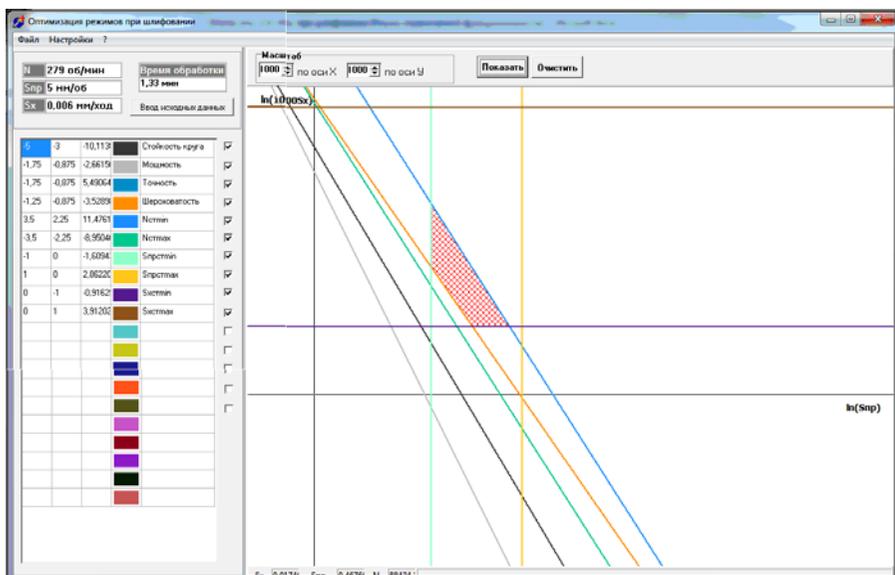


Рис. 5. Главное диалоговое окно «Оптимизация режимов при шлифовании» при определении режима резания для формообразования внутренней поверхности Ø55 мм

заготовки. Процесс резания осуществляется на станке, выбранном при назначении оборудования.

Контроль геометрических параметров детали осуществляется при помощи штангенциркуля, микрометра или индикаторного нутромера в зависимости от точности выполнения размера. Контроль шероховатости поверхностей производится посредством автоматизированного профилометра-профилографа модели БВ-7669. На основании результатов измерений делается заключение о правильности выбранных условий обработки.

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В процессе выполнения работы оформляется отчет. В отчете приводятся: рабочий чертеж изготавливаемой детали с выделением поверхностей, для обработки которых определяются наиболее выгодные условия формообразования; общие виды вкладки «Данные для расчета» и главного диалогового окна «Оптимизация режимов при

шлифовании» при определении рациональных условий обработки для операций круглого наружного и внутреннего шлифования указанных поверхностей; результаты измерения геометрических параметров обработанных поверхностей; ответ на индивидуальное задание и выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объяснить, что представляет собой математическая модель для определения рациональных условий обработки?
2. Что называется целевой функцией?
3. Что понимается под техническими ограничениями?
4. В каком случае задача по определению рациональных условий обработки может быть приведена к задаче линейного программирования?
5. Каким методом может быть решена задача линейного программирования?
6. Какие исходные данные могут варьироваться при определении рациональных условий обработки?
7. Как графически выглядит область рациональных условий обработки?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

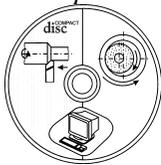
1. Богомолов, Н.И. Исследование прочности абразивных зёрен в процессе микро-резания / Н.И. Богомолов // Заводская лаборатория, 1966. – №3. – С. 353-354.
2. Горанский, К.Г. Расчет режимов резания при помощи электронно-вычислительных машин [Текст] / К.Г. Горанский. – Минск: Госиздательство БССР, 1963. – 192 с.
3. Евсеев, Д.Г. Формирование свойств поверхностных слоев при абразивной обработке / Д.Г. Евсеев. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. – 128 с.
4. Лепилин, В.И. Режимы резания авиационных материалов при точении [Текст]: учебное пособие / Лепилин В.И. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2000. – 128 с.
5. Маслов, Е.Н. Теория шлифования металлов / Е.Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
6. Носов, Н.В. Технологические основы проектирования абразивных инструментов / Н.В. Носов, Б.А. Кравченко. – М.: Машиностроение-1, 2003. – 257 с.
7. Ординарцев, И.А. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев [и др.]; Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, 1987. – 846 с.
8. Островский, В.И. Теоретические основы процесса шлифования / В.И. Островский. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 144 с.
9. Попов, С.А. Шлифовальные работы / С.А. Попов. – М.: Высшая школа; Издательский центр «Академия», 1999. – 383 с.
10. Сипайлов, В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности / В.А. Сипайлов. – М.: Машиностроение, 1978. – 167 с.

11. Скуратов, Д.Л. Определение рациональных условий обработки при производстве деталей ГТД /Д.Л. Скуратов, В.Н. Трусов. – Самара: Самар. науч. центр РАН, 2002. – 154 с.

12. Урывский, Ф.П. Влияние параметров термического цикла на формирование свойств поверхностного слоя при шлифовании титановых сплавов и закаленных сталей / Ф.П. Урывский // Высокоэффективные методы механической обработки жаропрочных и титановых сплавов: межвуз. сб. – Куйбышев, 1981. – С. 71-78.

13. Ящерицын, П.И. Тепловые явления при шлифовании и свойства обработанных поверхностей / П.И. Ящерицын, А.К. Цокур, М.Л. Ерёменко. – Минск: Наука и техника, 1973. – 184 с.

Кафедра
механической обработки
материалов



ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Студент _____

Группа _____ Дата _____

ОТЧЕТ

по лабораторной работе «**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ ПРИ КРУГЛОМ НАРУЖНОМ И ВНУТРЕНЕМ ШЛИФОВАНИИ ЗАГОТОВОК**»

Цель работы:

1. Чертеж детали с выделением поверхностей, для обработки которых определяются наивыгоднейшие условия формообразования

2. Общие виды вкладки «Данные для расчета» и главного диалогового окна «Оптимизация режимов при шлифовании» при определении рациональных условий обработки:

а) наружной поверхности

б) внутренней поверхности

3. Результаты измерения параметров обработанных поверхностей

Наружная поверхность			
Диаметр, мм		Шероховатость R_z , мкм	
по чертежу	измеренный	по чертежу	измеренная

Внутренняя поверхность			
Диаметр, мм		Шероховатость R_z , мкм	
по чертежу	измеренный	по чертежу	измеренная

4. Индивидуальное задание

5. Выводы по работе

Преподаватель _____