

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 ТОЧЕНИЯ И РАСТАЧИВАНИЯ

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, А. Н. Швецов

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

Определение рациональных условий обработки на операциях точения и растачивания [Электронный ресурс] электрон метод. указания к лаб. работам / сост. Д. Л. Скуратов, Е. А. Буланова, А. Н. Швецов; М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (7,07 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 на операциях точения и растачивания заготовок, а также получение практических навыков расчета режимов резания.

Задачи:

- ознакомиться с математической моделью для определения рациональных условий обработки при точении и растачивании заготовок;
- ознакомиться с методикой и программой расчета режимов резания;
- приобрести практические навыки определения наивыгоднейших режимов резания при точении и растачивании заготовок.

2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить инструкцию по технике безопасности при выполнении лабораторной работы.
2. Изучить методические указания по выполнению данной работы.
3. Ознакомиться с математической моделью для определения рациональных условий обработки при точении и растачивании цилиндрических и конических поверхностей заготовок.
4. Ознакомиться с методикой и программой расчета режимов резания.
5. Определить наивыгоднейшие условия обработки для указанных поверхностей заготовки.
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 точения и растачивания заготовок.

Металлорежущее оборудование:

– токарно-винторезные станки.

Режущие инструменты:

– проходные токарные резцы;

– расточные токарные резцы.

Средства измерений:

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

– 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 ТОЧЕНИИ И РАСТАЧИВАНИИ ЗАГОТОВОК

Для решения задачи научно-обоснованного определения рациональных условий обработки цилиндрических и конических поверхностей заготовок на операциях чистового точения и растачивания при изготовлении различных деталей и, в частности деталей авиокосмической техники, 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 параметров во внимание не принимается. Задача по определению рациональных условий обработки в этом случае 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 марки инструментального материала, геометрии инструмента, режима резания, СОТС и т.д., в качестве целевой функции принимается себестоимость одной операции. При этом переменная доля себестоимости операции при резании одним инструментом 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 затупившегося инструмента, установку переточенного 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 точения и растачивания должно основываться на экономическом периоде стойкости инструмента. При использовании в расчетах экономических периодов стойкости режимы резания, обеспечивающие наименьшее время резания, будут одновременно и наиболее экономичными [1]. Поэтому в качестве целевой функции при продольном точении и растачивании заготовок целесообразно использовать уравнение, определяющее машинное время обработки.

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

$$f_m = \frac{l_m A}{n S t}, \quad (4.1)$$

где A - припуск на обработку (на сторону), мм; l_m - длина пути реза в направлении подачи, мм; t - глубина резания, мм; S - подача, мм/об; n - число оборотов заготовки, об/мин.

Большинство деталей аэрокосмической техники работают при высоких давлениях, температурах и знакопеременных нагрузках, поэтому к качеству обработки этих деталей предъявляются повышенные требования. В связи с вышеизложенным, на операции чистового точения и растачивания должны накладываться определенные технические ограничения.

Ограничение, связанное с режущими свойствами инструмента

Скорость резания при продольном точении и растачивании определяется из условия полного использования режущих свойств инструмента на основании неравенства:

$$v \leq v_m, \quad (4.2)$$

где v - скорость резания, м/мин; v_m - максимально допустимая скорость резания при заданной стойкости резца, м/мин.

Подставив значения v и v_m , определяемые по формулам $v = \frac{\pi D n}{1000}$, $v_m = \frac{C'_v k_v}{T^m t^{x_v} S^{y_v}}$, в неравенство (4.2) и решая его относительно nSt , получим первое техническое ограничение:

$$n(100S)^{y_v}(100t)^{x_v} \leq \frac{318C'_v k_v 100^{(x_v+y_v)}}{T^m D}, \quad (4.3)$$

где n - число оборотов заготовки, об/мин; S - подача, мм/об; t - глубина резания, мм; C'_v - коэффициент, характеризующий условия обработки, для которых разрабатывались нормативные материалы; k_v - поправочный коэффициент, учитывающий изменение реальных условий обработки от тех, при которых определялся коэффициент C'_v ; T - заданная стойкость резца, мин; D - диаметр обрабатываемой поверхности, мм; m, x_v, y_v - показатели степени, характеризующие влияние T, t, S на скорость резания.

В неравенстве (4.3) и последующих технических ограничениях для удобства вычислений принято вместо $S \rightarrow 100S$, а вместо $t \rightarrow 100t$, с соответствующими поправками в правой части.

Ограничение, связанное с мощностью станка

При токарной обработке необходимо, чтобы эффективная мощность $N_{эф}$ не превышала мощности, подводимой к шпинделю станка, то есть выполнялось условие

$$N_{эф} \leq N_{ин}, \quad (4.4)$$

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

Подставив в неравенство (4.4) $N_{эф} = \frac{P_z v}{60 \cdot 1000}$, $N_{ин} = N_{э0} \eta$ и учитывая, что $P_z = C_{P_z} t^{x_{P_z}} S^{y_{P_z}} v^{z_{P_z}}$ и $v = \frac{\pi D n}{1000}$, получим после соответствующего преобразования и решения относительно n, S, t второе техническое ограничение в виде

$$n^{(1+z_{P_z})} (100S)^{y_{P_z}} (100t)^{x_{P_z}} \leq \frac{N_{эд} \eta \cdot 60 \cdot 1000 \cdot 318^{(1+z_{P_z})} 100^{(x_{P_z} + y_{P_z})}}{C_{P_z} D^{(1+z_{P_z})}}, \quad (4.5)$$

где $N_{эд}$ - мощность электродвигателя механизма главного движения станка, кВт; η - КПД кинематической цепи механизма главного движения; C_{P_z} - коэффициент, отражающий влияние условий обработки на составляющую силы резания P_z ; x_{P_z} , y_{P_z} , z_{P_z} - показатели степени, характеризующие интенсивность влияния соответственно t , S и ν на величину силы P_z .

Ограничение, связанное с точностью обработки

Для обработки заданной поверхности заготовки с погрешностью, не превышающей допуск на диаметральный размер обрабатываемой поверхности, необходимо выполнить следующее условие [2]:

$$P_y \left(\frac{1}{j_{заг}} + \frac{1}{j_{см}} + \frac{1}{j_p} \right) \leq k_3 \frac{\delta}{2}, \quad (4.6)$$

где $P_y = C_{P_y} t^{x_{P_y}} S^{y_{P_y}} \nu^{z_{P_y}}$ - радиальная составляющая силы резания, Н;

$\frac{1}{j_{заг}}$, $\frac{1}{j_{см}}$, $\frac{1}{j_p}$ - податливость соответственно заготовки, станка и резца, мм/Н; k_3 - коэффициент, показывающий, в какую часть допуска должна укладываться погрешность, вызванная деформацией заготовки, составляющих станка и резца, $k_3 = 0,7 \dots 0,8$; δ - допуск на размер обрабатываемой поверхности, мм.

Подставив в эмпирическую зависимость для определения силы P_y формулу для расчета скорости резания $\nu = \frac{\pi D n}{1000}$, а затем вновь полученную зависимость в неравенство (4.6) и решив это уравнение относительно n, S, t , третье техническое ограничение получим в следующем виде:

$$n^{z_{P_y}} (100S)^{y_{P_y}} (100t)^{x_{P_y}} \leq \frac{318^{z_{P_y}} 100^{(x_{P_y} + y_{P_y})} k_3 \delta}{2 C_{P_y} D^{z_{P_y}} \left(\frac{1}{j_{заг}} + \frac{1}{j_{см}} + \frac{1}{j_p} \right)}, \quad (4.7)$$

где C_{P_y} - коэффициент, отражающий влияние условий обработки на составляющую силы резания P_y ; $x_{P_y}, y_{P_y}, z_{P_y}$ - показатели степени, характеризующие интенсивность влияния соответственно t , S и v на величину силы P_y .

Для расчета податливости заготовки, станка и резца могут быть использованы следующие зависимости:

- для определения податливости заготовки

$$\frac{1}{j_{заг}} = \frac{L^3}{k_1 J E},$$

где L - свободная длина заготовки, мм; k_1 - коэффициент, учитывающий влияние способа закрепления заготовки (при закреплении в патроне $k_1 = 3$, в центрах – 70, в патроне с поджатием центром задней бабки – 100); J - момент инерции наиболее опасного сечения заготовки, выбранного с учетом способа закрепления, мм⁴; для сплошного сечения - $J = 0,05D^4$, для кольцевого сечения - $J = 0,05(D^4 - d^4)$; E - модуль продольной упругости материала обрабатываемой заготовки, МПа;

- для определения податливости станка

$$\frac{1}{j_{ст}} = 0,000025 k_2^3 \sqrt{\frac{200}{H_ц}},$$

при закреплении заготовки в центрах и в патроне с поджатием центром задней бабки станка $k_2 = -1,0$, где знак «-» учитывает конкурирующее влияние смещений на погрешность обработки, при закреплении заготовки в патроне $k_2 = 0,03L$, где L - вылет заготовки из патрона, мм; $H_ц$ - высота центров станка, мм;

- для определения податливости резца

$$\frac{1}{j_p} = \frac{l^3}{3J_p E_p},$$

где l - вылет резца из резцедержателя, если державка резца имеет круглое сечение по всей длине, или расстояние от вершины резца до перехода круглого сечения в призматическое; E_p - модуль продоль-

ной упругости материала державки резца, МПа; J_p - момент инерции поперечного сечения державки резца, мм⁴; для прямоугольного сечения $J_p = \frac{HB^3}{12}$, для круглого $J_p = 0,05 \cdot d_p^3$ (если круглое сечение переходит в прямоугольное, то расчет производится по наибольшему диаметру круглого сечения).

При обточке наружных поверхностей заготовок проходной резец обладает очень высокой жесткостью в направлении действия радиальной составляющей силы резания по сравнению с другими компонентами технологической системы. Поэтому его податливость $\frac{1}{j_p} = 0$.

При расточке внутренних поверхностей заготовок жесткость резца, как правило, оказывается существенно ниже других компонентов технологической системы и поэтому определяет величину допустимой подачи, то есть в этом случае можно считать $\frac{1}{j_{заг}} + \frac{1}{j_{см}} = 0$.

Ограничение, связанное с предельно допустимой шероховатостью обрабатываемой поверхности

Обработка заданной поверхности заготовки с допускаемой шероховатостью может быть осуществлена при условии:

$$(100S)(100t)^x \leq \frac{C_s R_z^y r^n \gamma^{0,3} \alpha^{0,25} \cdot 100^{(x+1)}}{(\varphi\varphi_1)^z h_3^{0,2}} k_s, \quad (4.8)$$

где C_s, n, x, y, z - коэффициент и показатели степени, зависящие от обрабатываемого материала; R_z - высота неровностей по десяти точкам, мкм; r - радиус закругления вершины резца, мм; γ - главный передний угол, градус; α - главный задний угол, градус; φ и φ_1 - главный и вспомогательный углы в плане, градус; h_3 - износ по задней поверхности резца, мм; k_s - коэффициент, учитывающий группу обрабатываемого материала.

Неравенство (4.8) является четвертым техническим ограничением.

Ограничение, связанное с температурой обработки

При точении и растачивании заготовок температура в зоне резания, а также время нагрева и охлаждения могут быть достаточными для

того, чтобы в поверхностном слое произошли структурно-фазовые превращения. Поэтому необходимо, чтобы температура в зоне резания не превышала критических значений, то есть должно выполняться условие

$$\theta \leq \theta_{кр}, \quad (4.9)$$

где θ - температура в зоне резания, °С; $\theta_{кр}$ - критическая температура в зоне резания, °С.

Температура в зоне резания при тчении и растачивании заготовок может быть определена по эмпирической зависимости

$$\theta = C_{\theta} t^{x_{\theta}} S^{y_{\theta}} v^{z_{\theta}},$$

где C_{θ} - коэффициент, отражающий влияние условий обработки на температуру в зоне резания; x_{θ} , y_{θ} , z_{θ} - показатели степени, характеризующие интенсивность влияния соответственно t , S и v на величину температуры резания.

Подставив вышеприведенную эмпирическую зависимость и формулу для расчета скорости резания в неравенство (4.9) и решив его относительно n , S , t , получим пятое техническое ограничение:

$$n^{z_{\theta}} (100S)^{y_{\theta}} (100t)^{x_{\theta}} \leq \frac{\theta_{кр} \cdot 318^{z_{\theta}} \cdot 100^{(x_{\theta} + y_{\theta})}}{C_{\theta} D^{z_{\theta}}}. \quad (4.10)$$

Ограничения, связанные с кинематическими возможностями станка, используемого для тчения или растачивания заготовки

При обработке заготовки частота ее вращения и продольная подача, сообщаемая резцу, должны быть ограничены соответственно наибольшим и наименьшим числом оборотов шпинделя и наибольшей и наименьшей подачами, приведенными в паспорте станка. Тогда технические ограничения, обусловленные кинематическими возможностями станка, будут иметь вид:

- шестое техническое ограничение

$$n \geq n_{cm \min}, \quad (4.11)$$

где $n_{cm \min}$ - минимальная частота вращения шпинделя станка, об/мин;

- седьмое техническое ограничение

$$n \leq n_{cm \max}, \quad (4.12)$$

где $n_{cm \max}$ - максимальная частота вращения шпинделя станка, об/мин;

- восьмое техническое ограничение

$$100S \geq 100S_{cm \min}, \quad (4.13)$$

где $S_{cm \min}$ - минимальная продольная подача станка, мм/об;
 - девятое техническое ограничение

$$100S \leq 100S_{cm \max}, \quad (4.14)$$

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

Ограничения, связанные с глубиной резания

Для обеспечения заданного качества точности детали глубина резания t не может быть меньше некоторой определенной для каждого инструмента и обрабатываемого материала величины t_{\min} . С другой стороны, глубина резания не может быть больше припуска на обработку. Тогда технические ограничения, обусловленные глубиной резания, будут иметь вид:

- десятое техническое ограничение

$$100t \geq 100t_{\min}; \quad (4.15)$$

- одиннадцатое техническое ограничение:

$$100t \leq 100A, \quad (4.16)$$

где A - припуск на обработку (на сторону), мм.

Ограничение, связанное с мощностью механизма подач

Для нормального протекания процесса обработки необходимо, чтобы затраты мощности механизма подач станка не превышали максимальной мощности его привода, т.е.

$$P_x \cdot v_x \leq N_{n \max}, \quad (4.17)$$

где P_x - осевая составляющая силы резания, Н; v_x - скорость подачи, м/с; $N_{n \max}$ - максимальная мощность механизма подач станка, Вт.

Учитывая, что $P_x = C_{P_x} t^{x_{P_x}} S^{y_{P_x}} v^{z_{P_x}}$, $v = \frac{\pi D n}{1000}$, а $v_x = \frac{S n}{60 \cdot 1000}$, двенадцатое ограничение после соответствующих преобразований получим в следующем виде

$$(100t)^{x_{P_x}} (100S)^{(1+y_{P_x})} n^{(1+z_{P_x})} \leq \frac{60000 \cdot 1000^{z_{P_x}} \cdot N_{n \max} \cdot 100^{(x_{P_x} + 1 + y_{P_x})}}{C_{P_x} (\pi D)^{z_{P_x}}}. \quad (4.18)$$

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 чистового точения и растачивания заготовок и гарантированно обеспечить при этом заданное значение конструктивных параметров.

Для получения системы линейных ограничений-неравенств и линейной целевой функции, моделирующих процессы продольного точения и растачивания заготовок, прологарифмируем зависимости (4.3), (4.5), (4.7), (4.8), (4.10) - (4.16), (4.18) и (4.1), которые после введения обозначений будут иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{ll} x_1 + y_v x_2 + & x_v x_3 \leq b_1; \\ (1 + z_{P_z})x_1 + y_{P_z} x_2 + & x_{P_z} x_3 \leq b_2; \\ z_{P_y} x_1 + y_{P_y} x_2 + & x_{P_y} x_3 \leq b_3; \\ & x_2 + & x x_3 \leq b_4; \\ z_\theta x_1 + y_\theta x_2 + & x_\theta x_3 \leq b_5; \\ x_1 & \geq b_6; \\ x_1 & \leq b_7; \\ & x_2 & \geq b_8; \\ & x_2 & \leq b_9; \\ & & x_3 \geq b_{10}; \\ & & x_3 \leq b_{11}; \\ x_1 + (1 + y_{P_x})x_2 + (1 + z_{P_x})x_3 & \leq b_{12}. \end{array} \right. \quad (4.19)$$

$$f_0 = c_0 - x_1 - x_2 - x_3,$$

где $x_1 = \ln n$; $x_2 = \ln(100S)$, $x_3 = \ln(100t)$;

$$\begin{aligned}
b_1 &= \ln \frac{318 C'_v k_v \cdot 100^{(x_v + y_v)}}{T^m D}; \\
b_2 &= \ln \frac{N \eta \cdot 60 \cdot 1000 \cdot 318^{(1+z_{P_z})} \cdot 100^{(x_{P_z} + y_{P_z})}}{C_{P_z} D^{(1+z_{P_z})}}; \\
b_3 &= \ln \frac{318^{z_{P_y}} \cdot 100^{(x_{P_y} + y_{P_y})} k_3 \delta}{2 C_{P_y} D^{z_{P_y}} \left(\frac{1}{j_\partial} + \frac{1}{j_{cm}} + \frac{1}{j_p} \right)}; \\
b_4 &= \ln \frac{C_s R_z^y r^n \gamma^{0,3} \alpha^{0,25} \cdot 100^{(x+1)}}{(\varphi \varphi_1)^z h_3^{0,2}} k_s; \quad b_5 = \ln \frac{\theta_{kp} \cdot 318^{z_\theta} \cdot 100^{(x_\theta + y_\theta)}}{C_\theta D^{z_\theta}}; \\
b_6 &= \ln n_{cm \min}; \quad b_7 = \ln n_{cm \max}; \quad b_8 = \ln(100 S_{cm \min}); \\
b_9 &= \ln(100 S_{cm \max}); \quad b_{10} = \ln(100 t_{\min}); \quad b_{11} = \ln(100 A); \\
b_{12} &= \ln \frac{60000 \cdot 1000^{Z_{P_x}} \cdot N_{n \max} \cdot 100^{(x_{P_x} + 1 + y_{P_x})}}{C_{P_x} \cdot (\pi \cdot D)^{Z_{P_x}}}; \\
f_0 &= \ln f_m; \quad c_0 = \ln(10000 l_m A).
\end{aligned}$$

Полученная система линейных ограничений-неравенств (4.19) и линейная функция f_0 представляют собой математическую модель для определения рациональных режимов резания при продольном точении и растачивании заготовок одним резцом.

Решение задачи может быть упрощено за счет приведения системы (4.19) 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 режущими свойствами инструмента, которые в значительной мере определяются его стойкостью

$$x_1 = b_1 - y_v x_2 - x_v x_3$$

и подставим его значение во все остальные неравенства системы (4.19). При токарной обработке ограничение, связанное с режущими свойствами инструмента является одним из основных ограничений. В результате получим новую систему, содержащую два неизвестных x_2 и x_3 :

$$\left\{ \begin{array}{l} (y_{P_z} - y_v - z_{P_z} y_v)x_2 + (x_{P_z} - x_v - z_{P_z} x_v)x_3 \leq b_2 - (1 + z_{P_z})b_1; \\ (y_{P_y} - z_{P_y} y_v)x_2 + (x_{P_y} - z_{P_y} x_v)x_3 \leq b_3 - z_{P_y} b_1; \\ x_2 + x x_3 \leq b_4; \\ (y_\theta - z_\theta y_v)x_2 + (x_\theta - z_\theta x_v)x_3 \leq b_5 - z_\theta b_1; \\ - y_v x_2 - x_v x_3 \geq b_6 - b_1; \\ - y_v x_2 - x_v x_3 \leq b_7 - b_1; \\ x_2 \geq b_8; \\ x_2 \leq b_9; \\ x_3 \geq b_{101}; \\ x_3 \leq b_{11}; \\ (1 + y_{P_x} - y_v)x_2 + (1 + z_{P_x} - x_v)x_3 \leq b_{12} - b_1. \end{array} \right. \quad (4.20)$$

$$f_0 = c_0 - b_1 - [(1 - y_v)x_2 + (1 - x_v)x_3]$$

Так как в условиях конкретной задачи $c_0 - b_1$ является величиной постоянной, то целевая функция f_0 достигнет минимального значения в том случае, когда достигнет максимального значения величина, заключенная в квадратные скобки, то есть неизвестные x_2 и x_3 примут максимально допустимые значения, удовлетворяющие системе ограничений (4.20).

На основании полученной математической модели созданы алгоритм и программа расчета для определения рациональных условий резания при точении и растачивании заготовок.

5. ПРОГРАММА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ

На основе математической модели разработана программа для определения рациональных режимов обработки при точении и растачивании 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, 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:

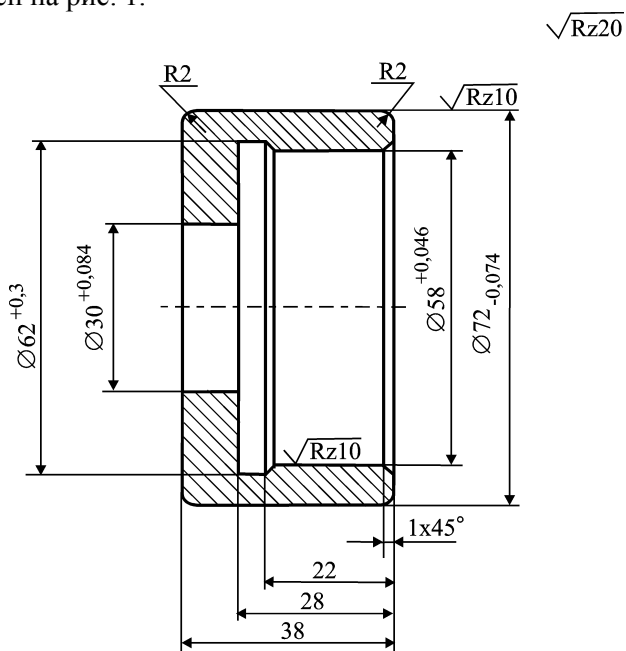
- параметры, относящиеся к станку, на котором производится обработка;
- параметры, относящиеся к обрабатываемой заготовке;
- параметры, относящиеся к резцу, при помощи которого ведётся обработка.

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, титановых и алюминиевых сплавов.

5.2. ПРИМЕР РАСЧЕТА РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

В качестве примера выполним расчет режимов резания для чистовой обработки одной наружной и одной внутренней поверхностей втулки, изготавливаемой из титанового сплава ВТ8, эскиз которой представлен на рис. 1.



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

Рис. 1. Эскиз втулки

Наружная поверхность Ø72 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, заготовки и инструмента.

Данные для расчета

Применить

Станок

Модель	16K20
Вид обработки	Обточка
N мин., об/мин	12,50
N макс., об/мин	1600,00
S мин., мм/об	0,050
S макс., мм/об	2,800
Наиб. усилие, Н	5890,00
Мощность дв., кВт	10,00
Высота центров, мм	215,00
Мощн. мех. подач, Вт	440,000

Заготовка

Тип материала	Титановые сплавы
Марка	BT8
Сиглаб, МПа	1125
E, МПа	117720
K _{тп}	0,92
K _{тпv}	1,41
D, мм	72,00
d, мм	58,00
d _{delta} , мм	0,074
Rz, мкм	10,00
A, мм	1,00
l мин., мм	0,150
L ₀	16,00
L _{плоч}	38,00

Состояние заготовки

Отожжённое	
Вид закрепления	В патроне
Охлаждение	5%эмульсия с Z%суш

Температурные хар-ки

S _{Tetta}	170,00
X _{Tetta}	0,05
Y _{Tetta}	0,24
Z _{Tetta}	0,24
T _{etta кр}	700
K _{fil tetta}	1
K _{ul tetta}	1
K _{C Tetta}	1
K _{O Tetta}	1

Резец

Материал резца	ВК6-М
E, МПа	220000
T, мин	45
H, мм	20
B, мм	20
D, мм	22
L, мм	30
Cv	49,00
Xv	0,28
Yv	0,65
Zv	0,32
K _{ув}	1,00
K _{ов}	1
K _{св}	1,2

Поправочные коэффициенты

Гл. угол в плане	90
К _{РРх}	1,15
К _{РРy}	0,50
К _{РРz}	0,90
К _{Рv}	0,75
Радиус	1,00
К _{РРх}	1,00
К _{РРy}	1,11
К _{РРz}	1,05
Износ резца	0,30
К _{РРх}	1,30
К _{РРy}	1,20
К _{РРz}	1,03
Вспом. угол в плане	10
Самма	10
Аlpha	15

Рис. 2. Вкладка ввода исходных данных «Данные для расчета» при определении режима резания для обработки наружной поверхности Ø72 мм

В окне «Станок» в выпадающем списке оборудования выбираем станок, на котором будет обрабатываться заготовка. В нашем случае это токарно-винторезный станок модели 16К20. При этом все его технические характеристики автоматически загрузятся из базы данных. После чего выбирается вид предполагаемой обработки – «Обточка». Затем вводятся данные, определяющие параметры заготовки.

В окне «Заготовка» из выпадающего списка выбирается тип материала, а затем его марка. В нашем случае это титановый сплав марки ВТ8. При этом автоматически на экране отобразятся предел прочности данного материала при растяжении σ_e и модуль его продольной упругости E , а также поправочные коэффициенты соответственно на скорость и силы резания при данных условиях обработки по сравнению с нормативными. Затем вводятся необходимые геометрические параметры заготовки, перечисленные в данном окне, которые берутся непосредственно с эскиза или чертежа изготавливаемой детали. Следует отметить, что свободная длина детали L_0 будет определяться видом закрепления, а припуск на сторону A при чистовой обработке следует брать, примерно, равным 1...1,5 мм. Обточку наружной поверхности втулки $\varnothing 72$ мм будем производить в патроне. При этом припуск на обработку примем равным 1 мм. Минимальная глубина резания t_{\min} зависит от диаметра заготовки и точности выполняемого размера [3]. Назначим t_{\min} равной 0,15 мм. В этом же окне автоматически отображаются коэффициенты и показатели степеней, используемые в формуле для расчета температуры в зоне резания, и вводится значение критической температуры, а также указывается вид смазывающе-охлаждающей жидкости из выпадающего списка.

В окне «Резец» вначале задаются общие параметры, характеризующие инструмент, а именно: материал режущей части резца, форма державки и её размеры, вылет инструмента из резцедержателя, период стойкости, а затем его геометрические параметры: главный и вспомогательный углы в плане, радиус при вершине резца, допустимая величина износа, передний и задний углы. При этом материал режущей части инструмента и форма державки выбираются из выпадающих списков. Так как в нашем случае обрабатывается заготовка из титанового сплава, то для её формообразования целесообразно использовать резец с пластиной из твердого сплава группы «ВК». При этом при чистовом точении рекомендуется использовать, например, марку ВК6-М.

При наружной обработке сечение державки резца, как правило, прямоугольное, а вылет державки резца из резцодержателя не превышает обычно 1...1,5 от её высоты (Н). Назначим вылет резца равным 1,5Н.

Период стойкости резца при чистовой обработке примем равным 45 минутам, а допустимую величину износа по задней поверхности равной 0,3 мм.

Исходя из имеющихся рекомендаций и технологических особенностей обработки геометрические параметры резца примем следующие: главный угол в плане $\varphi = 90^\circ$; вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 10^\circ$; главный передний угол $\gamma = 10^\circ$; главный задний угол $\alpha = 15^\circ$; радиус при вершине резца $r = 1,0$ мм.

Как уже отмечалось ранее, обточка наружной поверхности $\varnothing 72$ мм втулки осуществляется в патроне. При этом базирование заготовки выполняется по $\varnothing 58$ мм и правому торцу (см. рис. 1), а закрепление по $\varnothing 58$ мм. Поэтому для того чтобы не врезаться резцом в кулачки главный угол в плане принят равным 90° .

В этом же окне приведены коэффициенты и показатели степеней, используемые в формуле для расчета скорости резания.

После ввода всех исходных данных и нажатия кнопки «Применить» на экране монитора компьютера появляется главное диалоговое окно «Оптимизация режимов резания» программы, представленное на рис. 4.2. 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 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.).

Графический метод дает наглядное представление о влиянии технических ограничений на режимы обработки и позволяет проанализировать за счет чего в данном конкретном случае возможно увеличение производительности процесса резания.

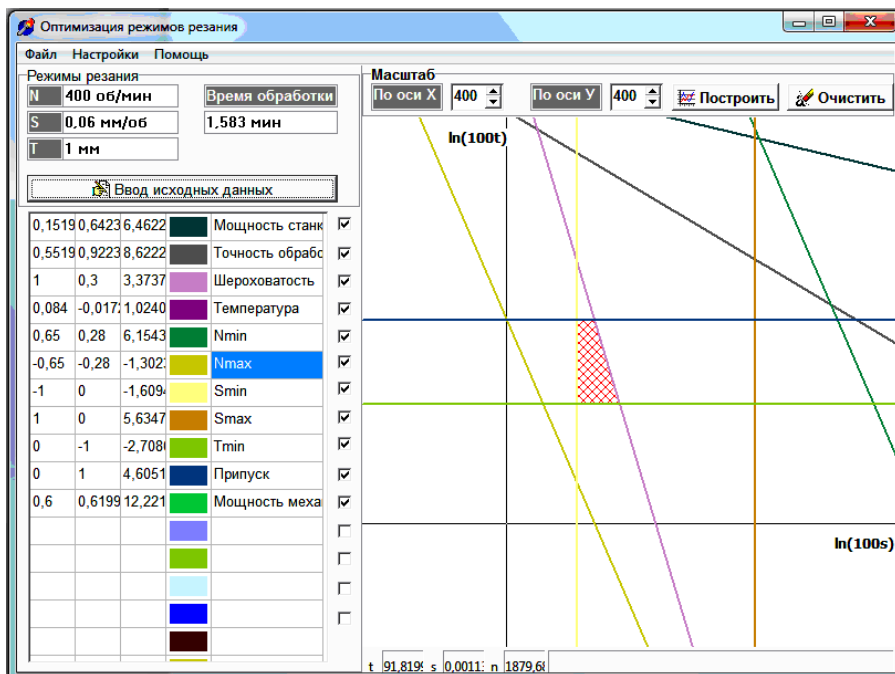


Рис. 3. Главное диалоговое окно «Оптимизация режимов резания» при определении режима резания для обработки наружной поверхности Ø72 мм

Из области допустимых режимов обработки выбирается режим, обеспечивающий максимум целевой функции, то есть минимальное время обработки. Частота вращения шпинделя выбирается из перечня допустимых частот для выбранного станка. Результаты расчета представлены в левой верхней части диалогового окна.

Варьируя различным оборудованием в окне «Станок» вкладки «Данные для расчета», а также параметрами в окнах «Заготовка» и

«Резец» этой же вкладки, можно получить наивыгоднейшие условия для обработки указанной поверхности.

Внутренняя поверхность Ø58 мм

Аналогичным образом определяются рациональные условия обработки и для расточки отверстия Ø58 мм. На рис. 4 и 5 приведены соответственно вкладка «Данные для расчета» с введенными исходными данными и главное диалоговое окно «Оптимизация режимов резания».

Также как и в предыдущем случае, варьируя различным оборудованием в окне «Станок» вкладки «Данные для расчета», а также параметрами в окнах «Заготовка» и «Резец» этой же вкладки, можно получить наивыгоднейшие условия для обработки внутренней поверхности Ø58 мм.

6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА, ВЫБРАННЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ

После назначения наивыгоднейших условий для формообразования наружной и внутренней поверхностей выполняется обработка заготовки. Процесс резания осуществляется на станке, выбранном при назначении оборудования.

Контроль геометрических размеров наружной поверхности детали осуществляется при помощи штангенциркуля или микрометра в зависимости от точности выполнения размера, а внутренней поверхности – при помощи штангенциркуля и индикаторного нутромера. 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: эскиз изготавливаемой детали с выделением поверхностей, для обработки которых определяются наивыгоднейшие условия формообразования; общие виды вкладки «Данные для расчета» и главного диалогового окна «Оптимизация режимов резания» при определении рациональных условий обработки для операций обточки и расточки указанных поверхностей; результаты измерения геомет-

Приложить

Данные для расчёта

Станок

Применить

Модель 16K20	Тип материала Титановые сплавы	Состояние заготовки Отожжённое	Материал реза ВК6-М	Крупная H, мм 20
Вид обработки Расточка	Марка BT8	Вид закрепления В патроне	E, МПа 220000	B, мм 20
N мин., об/мин 12,50	Sigma_{тв}, МПа 1125	Охлаждение 5%эмульсия с 2%сух	T, мин 45	D, мм 20
N макс., об/мин 1600,00	E, МПа 117720	Температурные хар-ки	Cv 49,00	L, мм 40
S мин., мм/об 0,050	K_{тв} 0,92	С_{Тета} 170,00	K_{ув} 1,00	γ_v 0,65
S макс., мм/об 2,800	K_{тв} 1,41	X_{Тета} 0,05	Ков 1	κ_v 1,2
Наиб. усилие, Н 5890,00	D_г, мм 72,00	Y_{Тета} 0,24	Поправочные коэффициенты	Износ реза 0,30
Мощность д.э., кВт 10,00	d_г, мм 58,00	Z_{Тета} 0,24	Л_г, угол в плане 105	Радиус 0,50
Высота центров, мм 215,00	delta, мм 0,046	T_г кр 700	K_{гРх} 1,15	K_{гРх} 1,00
Мощн. мех. подач, Вт 440,000	Rz, мкм 10,00	K_{гРz} 0,90	K_{гРy} 0,50	K_{гРy} 1,00
	A_г, мм 1,00	K_{гРv} 0,75	K_{гРz} 1,00	K_{гРz} 1,03
	t мин., мм 0,150	K_{гТета} 1	Вспом. угол в плане 10	Gamma 10
	L_г 23,00	K_{гТета} 1	Alpha 15	
	L_{гоч} 28,00	K_{ОТета} 1		

Рис. 4. Вкладка ввода исходных данных «Данные для расчёта» при определении режима резания для обработки внутренней поверхности Ø58 мм

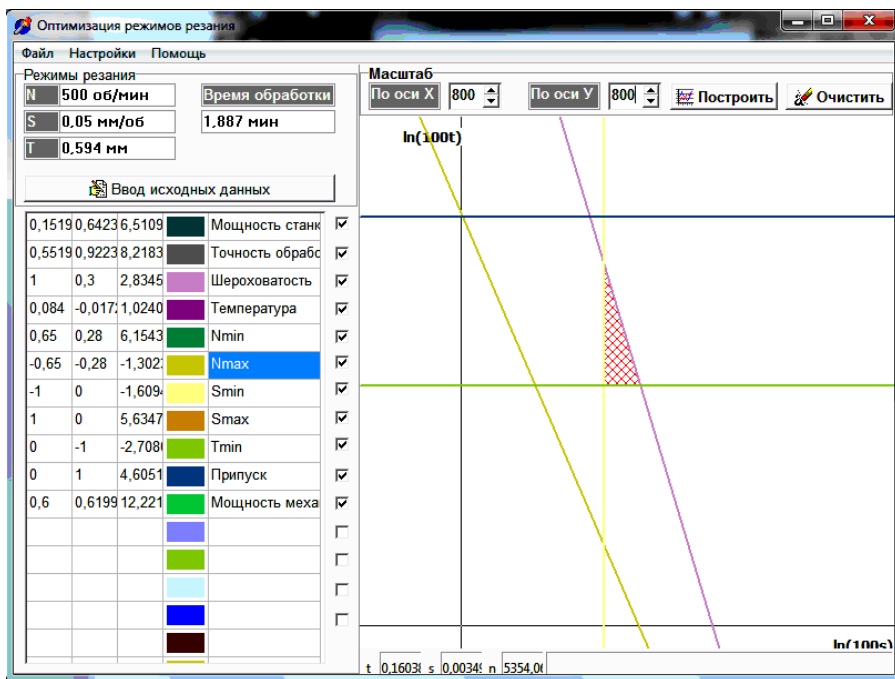


Рис. 5. Главное диалоговое окно «Оптимизация режимов резания» при определении режима резания для обработки внутренней поверхности Ø58 мм

рических параметров обработанных поверхностей; ответ на индивидуальное задание и выводы по работе.

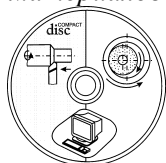
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

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. Горанский, К.Г. Расчет режимов резания при помощи электронно-вычислительных машин [Текст] / К.Г. Горанский. – Минск: Госиздательство БССР, 1963. – 192 с.
2. Лепилин, В.И. Режимы резания авиационных материалов при точении [Текст]: учебное пособие / Лепилин В.И. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2000. – 128 с.
3. Локтев, А.Д. Общемашиностроительные нормативы режимов резания: справочник: в 2-х т.: Т.1 /А.Д. Локтев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1991. – 640 с.

*Кафедра
механической обработки
материалов*



ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Студент _____

Группа _____ Дата _____

ОТЧЕТ

по лабораторной работе **«ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ТОЧЕНИИ И РАСТАЧИВАНИИ ЗАГОТОВОК»**

Цель работы:

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

2. Общие виды вкладки «Данные для расчета» и главного диалогового окна «Оптимизация режимов резания» 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 эскизу	измеренный	по эскизу	измеренная

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

4. Индивидуальное задание

5. Выводы по работе

Преподаватель _____