

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

МЕТОДЫ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое
оборудование машиностроительного производства»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2021

УДК 621.9.04
ББК 34.5
МЗ8

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»
«12» января 2021 г., протокол № 8

Составитель ст. преподаватель А. Э. Липский

Рецензент канд. техн. наук, доц. И. В. Лесковец

Методические рекомендации к практическим занятиям предназначены для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» дневной и заочной форм обучения.

Учебно-методическое издание

МЕТОДЫ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Ответственный за выпуск	С. Н. Хатетовский
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевнича

Подписано в печать	. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л.	. Уч.-изд. л. . Тираж 38 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2021

Содержание

Введение.....	4
1 Практическое занятие № 1. Оптимизация параметров процесса резания	5
2 Практическое занятие № 2. Оптимизация параметров процесса ионно-плазменной обработки режущих инструментов	29
3 Практическое занятие № 3. Проектирование резцов	38
Список литературы	45

Введение

Учебная дисциплина «Методы физико-технической обработки» предусмотрена учебным планом для студентов дневной и заочной форм обучения по специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» и ставит своей целью закрепление знаний и практических навыков по оптимизации процессов резания, расчету режущих инструментов и составлению технологических процессов термической или химико-термической обработки, ознакомлению студентов с современными методами физико-технической обработки материалов и технологическим оборудованием, используемым при этом.

Отчеты по практическим занятиям должны содержать цель, исходные данные для индивидуального выполнения, решение задачи и выводы по работе.

1 Практическое занятие № 1. Оптимизация параметров процесса резания

Цель занятия – ознакомить студентов с методикой определения оптимальных режимов резания для условий автоматизированного производства.

Общие сведения

Обоснование технических ограничений.

В современном машиностроительном производстве в подавляющем объеме используют автоматизированное оборудование, где процесс обработки проходит без участия рабочего.

В связи с этим большое значение приобретают вопросы рационального использования оборудования, которое в большей степени зависит от назначения оптимальных режимов резания, обеспечивающих наибольший экономический эффект с учетом всех факторов, влияющих на производительность, технические и экономические характеристики процесса.

Обработка резанием является одним из прогрессивных методов получения деталей машин. Физически этот процесс представляет собой внедрение в тело заготовки режущего клина инструмента с последующим снятием слоя материала. В результате заготовке придаются необходимые размеры и формы.

На процесс обработки оказывают влияние большое количество факторов, к основным из которых можно отнести глубину резания, подачу и частоту вращения шпинделя станка. Варьируя данными параметрами, в большей степени можно влиять на процесс резания и тем самым на эффективность обработки.

В производственной практике при определении режимов резания используют эмпирические зависимости, которые учитывают возможные варианты решения задачи только в узком диапазоне. Поэтому для повышения эффективности процесса обработки поиск оптимальных режимов резания для данных условий выполняют с использованием математического моделирования.

Для решения вариационной технико-экономической задачи по определению оптимальных режимов резания большое значение имеет выбор критерия оптимальности.

В большинстве случаев для определения режимов резания при обработке на металлорежущих станках с ЧПУ в качестве критерия оптимальности принимается себестоимость операции или детали.

Уравнение для определения критерия оптимальности как функции от элементов режима резания называется оценочной, или целевой, функцией. В качестве оценочной функции при определении оптимальных режимов резания для обработки в один рабочий ход используется уравнение вида

$$f = \frac{C}{n \cdot S}, \quad (1.1)$$

где C – постоянный коэффициент;

n , S – частота вращения шпинделя, мин^{-1} , и подача на оборот, мм/об , соответственно.

Уравнение (1.1) является уравнением оценочной функции и в том случае, когда в качестве критерия оптимальности принята наибольшая производительность процесса.

В тех случаях, когда обработка производится в несколько рабочих ходов, уравнение оценочной функции принимает следующий вид:

$$f = \frac{C}{n \cdot S \cdot t}, \quad (1.2)$$

где t – глубина резания, мм .

При расчете режимов резания необходимо принимать во внимание ряд факторов, действующих в процессе обработки детали и накладывающих ограничения на режимы резания.

В качестве ограничений могут выступать различные элементы технологического процесса, относящиеся как к заготовке, так и к станку. К заготовке можно отнести такие ограничения, как величина припуска на обработку, жесткость заготовки, заданная чистота обработанных поверхностей и др. К станку – мощность электродвигателя, наибольшее допустимое усилие подачи, жесткость и прочность узлов и деталей станка. К режущему инструменту можно отнести такие ограничивающие факторы, как прочность и жесткость инструмента, геометрические параметры режущего клина, инструментальный материал и др.

Наряду с техническими ограничениями могут действовать и ограничения организационно-производственного характера, такие как заданная производительность станка, такт поточной или автоматической линии и др., а также экономические показатели – норма расхода инструмента, расход электроэнергии и т. п.

Поскольку наличие тех или иных ограничений в большинстве случаев снижает эффективность процесса, их необходимо по возможности сокращать путем введения различных технологических, конструктивных и организационно-производственных усовершенствований.

Таким образом, при расчете оптимальных режимов резания необходимо учитывать минимально допустимое количество ограничений, которые невозможно или нецелесообразно устранить.

При обработке на металлорежущих станках наиболее важными ограничениями, которые необходимо учитывать, являются следующие:

- 1) режущие возможности инструмента, определяемые его материалом, геометрией, расчетной стойкостью и условиями обработки;
- 2) мощность электродвигателя привода главного движения станка;
- 3) заданная производительность станка или ритм работы линии;
- 4) наименьшая возможная скорость резания (частота вращения), зависящая или от наименьшего числа оборотов шпинделя станка, или от режущих свойств инструмента;

- 5) наибольшая возможная скорость резания (частота вращения), допускаемая кинематикой станка или режущими свойствами инструмента;
- 6) наибольшая подача, допускаемая прочностью и жесткостью станка, инструмента и обрабатываемой детали, а также требованиями к чистоте обработки;
- 7) наименьшая подача, допускаемая кинематикой станка;
- 8) наибольшая подача, допускаемая кинематикой станка;
- 9) наименьшая технологически приемлемая глубина резания для данного инструмента;
- 10) наибольшая возможная глубина резания, равная припуску на обработку.

Кроме перечисленных ограничений, на выбор режимов резания влияют и другие, такие как жесткость узлов станка, приспособления и обрабатываемой детали, вибрации при резании, нагрев детали, усилие закрепления детали и др.

Важнейшим и решающим ограничением является заданная производительность станка или линии, т. к. никакой режим не может быть признан оптимальным, если он не обеспечивает требуемой производительности.

Режущие возможности инструмента.

Это ограничение устанавливает взаимосвязь между скоростью резания, обусловленной принятой стойкостью инструмента, материалом режущей части инструмента, его геометрическими параметрами, глубиной резания, подачей, механическими свойствами обрабатываемого материала, с одной стороны, и скоростью резания, определяемой кинематикой станка, с другой.

Унифицированная формула скорости резания для всех возможных видов обработки имеет следующий вид:

$$V = \frac{C_v \cdot D^{Z_v} \cdot K_v}{T^m \cdot t^{X_v} \cdot Z^{U_v} \cdot B^{r_v} \cdot S^{Y_v}}, \quad (1.3)$$

где C_v – постоянный коэффициент, характеризующий нормативные условия обработки [2];

K_v – общий поправочный коэффициент, учитывающий фактические условия обработки [2];

D – диаметр обрабатываемой детали (или инструмента), мм;

T – принятая стойкость инструмента, мин (значение принятой стойкости определяется выбранным критерием оптимальности и вычисляется по формулам, приведённым в [2]);

t – глубина резания, мм;

S – подача, мм/об (мм/зуб, мм/дв. ход, мм/мин);

Z – число зубьев режущего инструмента;

B – ширина фрезерования (или шлифования), мм;

$X_v, Y_v, Z_v, U_v, r_v, m$ – показатели степеней при переменных в формуле скорости резания.

Для конкретного вида обработки в данную формулу войдут соответствующие только данному виду обработки величины.

Скорость резания, определяемая кинематическими особенностями станка, выражается формулой

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}. \quad (1.4)$$

Приравнивая правые части формул (1.3) и (1.4) и выделяя в левую часть искомые элементы режима обработки, получим выражение

$$n \cdot S^{Y_v} \leq \frac{318 \cdot C_v \cdot K_v \cdot D^{Z-1}}{T^m \cdot t^{X_v} \cdot Z^{U_v} \cdot B^{r_v}}. \quad (1.5)$$

Мощность электродвигателя привода главного движения.

Ограничение устанавливает связь между эффективной мощностью, затрачиваемой на процесс резания, и мощностью электропривода главного движения.

Унифицированная формула эффективной мощности, затрачиваемой на процесс резания при различных видах обработки, имеет следующий вид:

$$N_{\text{эф}} = \frac{C_z \cdot t^{X_z} \cdot D^{Z_z} \cdot n^{n_z} \cdot S^{Y_z} \cdot B^{r_z} \cdot Z^{U_z} \cdot B^{q_z} \cdot K_z}{K_{cz}}, \quad (1.6)$$

где C_z – постоянный коэффициент, характеризующий нормативные условия обработки [2];

K_z – общий поправочный коэффициент на мощность, учитывающий фактические условия обработки [2];

B – ширина фрезы или шлифовального круга, мм;

K_{cz} – поправочный коэффициент, учитывающий специфику отдельных видов обработки;

$X_z, Y_z, r_z, Z_z, U_z, q_z, n_z$ – показатели степеней при переменных в формуле эффективной мощности.

Исходя из того, что эффективная мощность может выражаться через КПД привода и мощности двигателя, получим выражение

$$N_{\text{эф}} = N_{\Pi} \cdot \eta, \quad (1.7)$$

где N_{Π} – мощность электродвигателя главного привода станка, кВт;

η – коэффициент полезного действия кинематической цепи от электродвигателя к инструменту.

Приравнивая правые части выражений (1.6) и (1.7) и выделяя в левую часть искомые элементы режима обработки, получим

$$n^{n_z} \cdot S^{Y_z} \leq \frac{N_{\Pi} \cdot \eta \cdot K_{cz}}{C_z \cdot t^{X_z} \cdot D^{Z_z} \cdot B^{r_z} \cdot Z^{U_z} \cdot B^{q_z} \cdot K_z}. \quad (1.8)$$

Заданная производительность станка.

Ограничение учитывает взаимосвязь расчетной скорости резания и подачи с необходимой производительностью станка. Ограничение является важным, т. к. режимы резания, не обеспечивающие требуемой производительности, не могут быть признаны оптимальными.

Необходимую продолжительность цикла работы станка можно выразить следующей формулой:

$$T_{\text{ц}} = \frac{60 \cdot K_3 \cdot r_R}{R}, \quad (1.9)$$

где K_3 – коэффициент загрузки станка;

r_R – число деталей, обрабатываемых одновременно на одной позиции;

R – заданная производительность станка, шт./ч.

Время цикла можно выразить и таким образом:

$$T_{\text{ц}} = T_O + T_{\text{в.н}}, \quad (1.10)$$

где T_O – основное технологическое время, мин;

$T_{\text{в.н}}$ – вспомогательное не перекрываемое время, мин.

Основное время можно определить по формуле

$$T_O = \frac{L}{n \cdot S}, \quad (1.11)$$

где L – длина рабочего хода инструмента, мм.

Пользуясь уравнениями (1.10) и (1.11), можно написать следующее выражение:

$$\frac{60 \cdot K_3 \cdot r_R}{R} \leq T_O + T_{\text{в.н}}. \quad (1.12)$$

Подставив в данное неравенство значение T_O и решив его относительно искомых величин n и S , получим выражение в следующем виде:

$$n \cdot S \geq \frac{L \cdot R}{60 \cdot K_3 \cdot r_R - T_{\text{в.н}} \cdot R}. \quad (1.13)$$

Наименьшая допустимая скорость резания.

Скорость резания не может быть меньше некоторой определенной величины V_{min} , менее которой резко изменяются или ухудшаются условия стружкообразования, а на режущей кромке инструмента появляется нарост или происходит интенсивное выкрашивание и износ режущей кромки.

Неравенство, соответствующее этому ограничению, имеет вид:

$$n \geq \frac{1000 \cdot V_{\min}}{\pi \cdot D}. \quad (1.14)$$

С другой стороны, при работе на универсальном станке число оборотов шпинделя не может быть меньше наименьшего числа оборотов, предусмотренного кинематикой станка, т. е.

$$n \geq n_{CT \min}. \quad (1.15)$$

Объединяя неравенства (1.14) и (1.15), получаем следующее выражение:

$$n \geq \max \left(\frac{1000 \cdot V_{\min}}{\pi \cdot D}; n_{CT \min} \right), \quad (1.16)$$

где $V_{\min}$ – минимальная скорость резания для данного материала;

$n_{CT \min}$ – минимальная станочная скорость.

Наибольшая возможная скорость резания.

Для многих инструментов скорость резания не может быть больше некоторой величины, определяемой для каждого инструментального материала на основании практических данных. При увеличении скорости резания за пределы предельных значений наблюдается быстрая потеря размера детали вследствие повышенного износа режущих кромок инструмента.

Неравенство, соответствующее этому ограничению, имеет вид:

$$n \leq \frac{1000 \cdot V_{\max}}{\pi \cdot D}. \quad (1.17)$$

С другой стороны, при работе на универсальном станке число оборотов шпинделя не может быть больше наибольшего числа оборотов, предусмотренного кинематикой станка, т. е.

$$n \leq n_{CT \max}. \quad (1.18)$$

Объединяя неравенства (1.16) и (1.17), получаем следующее выражение:

$$n \leq \min \left(\frac{1000 \cdot V_{\max}}{\pi \cdot D}; n_{CT \max} \right), \quad (1.19)$$

где $V_{\max}$ – максимальная допустимая скорость резания для данного инструментального материала;

$n_{CT \max}$ – максимальная станочная скорость.

Наибольшая подача, допускаемая прочностью механизма подачи станка.

Сила, возникающая при обработке, может оказаться намного большей, чем сила, обусловленная прочностью механизма подачи, что приведет к его выходу из строя. В данном случае в качестве ограничения в выборе наибольшей допустимой подачи принимаем прочность механизма подачи станка. Оно имеет следующий вид:

$$P_{\text{под}} \leq P_{\text{под.ст}}. \quad (1.20)$$

С другой стороны, величину усилия, необходимого для осуществления процесса резания при различных видах обработки, можно определить, используя выражение

$$P_{\text{под}} = C_s \cdot t^X \cdot D^{n_s} \cdot \pi^{n_s} \cdot Z^{U_s} \cdot B^{r_s} \cdot n^{n_s} \cdot S^{Y_s} \cdot K_s. \quad (1.21)$$

Объединяя выражения (1.19) и (1.20), получаем следующее выражение:

$$n^{n_s} \cdot S^{Y_s} \leq \frac{P_{\text{под.ст}}}{C_s \cdot t^x \cdot D^{n_s} \cdot \pi^{n_s} \cdot Z^{U_s} \cdot B^{r_s} \cdot K_s}, \quad (1.22)$$

где $P_{\text{под.ст}}$ – усилие подачи, допускаемое прочностью механизма подачи станка;

C_s – постоянный коэффициент для осевой составляющей усилия резания, зависящий от обрабатываемого металла и от условий обработки;

K_s – общий поправочный коэффициент на усилие подачи, учитывающий фактические условия обработки [2].

Наибольшая подача, допускаемая прочностью и жесткостью инструмента.

Сила резания, являющаяся результирующей суммарного воздействия скорости резания и подачи, оказывает существенное влияние на основной исполнительный орган станка – режущий инструмент. Таким образом, необходимо сравнить расчетные скорость резания и подачу с допустимыми по прочности режущего инструмента.

Рассматривая резец как балку с защемленным концом (рисунок 1.1), нагруженную на одном конце сосредоточенной силой P_z (окружная составляющая силы резания), можно записать следующее:

$$\frac{M_{\text{изг}} \cdot K_3}{W} \leq [\sigma_{\text{и}}], \quad (1.23)$$

где $[\sigma_{\text{и}}]$ – предел прочности материала державки резца при изгибе, МПа;

$M_{\text{изг}}$ – изгибающий момент от действия окружной силы резания, Н·мм;

K_3 – коэффициент, учитывающий запас прочности, $K = (1,05 \dots 1,30)$;

W – момент сопротивления сечения державки резца, мм³.

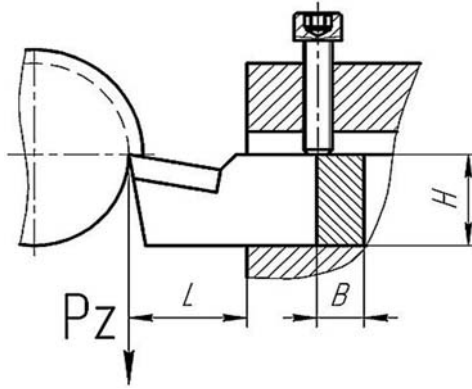


Рисунок 1.1 – Схема к расчету параметров сечения державки резца

Изгибающий момент в месте закрепления резца определяется по формуле

$$M_{изг} = P_z \cdot L. \quad (1.24)$$

Исходя из эмпирического представления силы P_z [2], выражение (1.24) будет иметь вид:

$$M_{изг} = C_p \cdot t^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot V^{z_p} \cdot K_p \cdot L. \quad (1.25)$$

Момент сопротивления сечения державки резца:

– для прямоугольного (квадратного) сечения

$$W_{\Pi} = \frac{B \cdot H^2}{6}; \quad (1.26)$$

– для круглого сечения

$$W_o = 0,1 \cdot d^3. \quad (1.27)$$

Подставив соотношения (1.25) и (1.26) или (1.27) в неравенство (1.23) и перенеся в левую часть неравенства элементы режимов резания, получим неравенства для прямоугольного (1.28) и круглого (1.29) сечений

$$n^{z_p} \cdot S^{y_p} \leq \frac{1000^{z_p} \cdot B \cdot H^2 \cdot \sigma_{изг}}{6 \cdot C_p \cdot t^{x_p} \cdot K_p \cdot \pi^{z_p} \cdot d_{дет}^{z_p} \cdot L \cdot K_3}; \quad (1.28)$$

$$n^{z_p} \cdot S^{y_p} \leq \frac{1000^{z_p} \cdot 0,1 \cdot d_{держ}^2 \cdot \sigma_{изг}}{C_p \cdot t^{x_p} \cdot K_p \cdot \pi^{z_p} \cdot d_{дет}^{z_p} \cdot L \cdot K_3}. \quad (1.29)$$

Наибольшая подача, допускаемая заданной шероховатостью обработанной поверхности.

Подача в большей степени влияет на качество обработанной поверхности. Одним из основных параметров поверхности является шероховатость. Таким образом, необходимо установить влияние основных параметров режима резания на шероховатость обработанной поверхности.

Формула для определения шероховатости поверхности при наружном чистовом точении имеет вид:

$$Ra = 0,85 \cdot \frac{t^{0,31} \cdot S^{0,58} \cdot \varphi^{0,4} \cdot \varphi_1^{0,4}}{V^{0,06} \cdot r^{0,65} \cdot HB^{0,05}}, \quad (1.30)$$

где t – глубина резания, мм;

φ – главный угол в плане, рад;

φ_1 – вспомогательный угол в плане, рад;

V – скорость резания, м/мин;

r – радиус при вершине резца, мм;

HB – твердость обрабатываемой поверхности.

Подставив выражение (1.4) в (1.30), получаем неравенство

$$S^{0,58} \cdot n^{-0,06} \leq \frac{Ra \cdot \pi^{0,06} \cdot D^{0,06} \cdot r^{0,65} \cdot HB^{0,05}}{0,85 \cdot 1000^{0,06} \cdot t^{0,31} \cdot \varphi^{0,4} \cdot \varphi_1^{0,4}}. \quad (1.31)$$

Наименьшая подача, допускаемая кинематикой станка.

Данное ограничение устанавливает взаимосвязь расчетной величины подачи с подачей, допускаемой кинематикой станка (по минимуму). Следовательно, технологически допустимая подача всегда должна быть больше или равна минимальной подаче, имеющейся на станке, а именно

$$S \geq S_{CT \min}, \quad (1.32)$$

где $S_{CT \min}$ – минимальная станочная подача.

Наибольшая подача, допускаемая кинематикой станка.

Ограничение устанавливает взаимосвязь расчетной величины подачи с подачей, допускаемой кинематикой станка (по максимуму). Следовательно, технологически допустимая подача не может быть больше наибольшей подачи, имеющейся на станке, т. е. должно соблюдаться следующее неравенство, являющееся восьмым ограничением:

$$S \leq S_{CT \max}, \quad (1.33)$$

где $S_{CT \max}$ – максимальная станочная подача.

Допустимое смещение заготовки от сил резания.

Условие обеспечения точности имеет вид:

$$y_{\phi} \leq 0,5 \cdot Td. \quad (1.34)$$

Смещение вала, закрепленного в центрах (патрон-центр), под действием сил резания можно определить по формуле

$$y_{\phi} = \frac{P_Y \cdot \left(\frac{L_{3AG}}{2}\right)^2 \cdot \left(L_{3AG} - \frac{L_{3AG}}{2}\right)^2}{3 \cdot E \cdot I_M \cdot L_{3AG}}, \quad (1.35)$$

где L_{3AG} – длина свободного (незажатого) участка заготовки, мм;

I_M – момент инерции сечения вала, мм⁴;

E – модуль упругости материала детали, МПа;

P_Y – радиальная составляющая силы резания, Н.

$$I_M = 0,05 \cdot D^4; \quad (1.36)$$

$$P_Y = C_{PY} \cdot t^{X_{PY}} \cdot s^{Y_{PY}} \cdot V^{n_{PY}} \cdot k_{PY}. \quad (1.37)$$

Объединив зависимости (1.35)–(1.38), получаем общую зависимость, имеющую оптимизируемые параметры s и n :

$$n^{n_{PY}} \cdot s^{Y_{PY}} \leq \frac{0,5 \cdot Td \cdot 1000^{n_{PY}} \cdot 3 \cdot E \cdot L_{3AG} \cdot \pi \cdot D^4}{64 \cdot C_{PY} \cdot t^{X_{PY}} \cdot D^{n_{PY}} \cdot \pi^{n_{PY}} \cdot k_{PY} \cdot \left(\frac{L_{3AG}}{2}\right)^2 \cdot \left(L_{3AG} - \frac{L_{3AG}}{2}\right)^2}. \quad (1.38)$$

Математическая модель процесса резания.

При определении основных характеристик режима резания (частота вращения n и подача S) широкое применение получил метод линейного программирования. Общая задача метода заключается в определении неотрицательных значений переменных, удовлетворяющих системе ограничений в виде линейных равенств и неравенств, обеспечивающих наибольшее или наименьшее значение некоторой линейной функции – критерия оптимальности.

Таким образом, одной из первых задач является приведение всех технических ограничений и оценочной функции к линейному виду. Для этого их необходимо логарифмировать. Однако до логарифмирования произведем в этих уравнениях и неравенствах ряд преобразований.

Входящая в уравнения и неравенства величина подачи в ряде случаев имеет малые значения, которым будут соответствовать отрицательные логарифмы. Для того чтобы исключить возможность появления таких логарифмов, умножим во

всех уравнениях и неравенствах технических ограничений и критерия оптимальности величину подачи на 1000 и произведем соответствующие преобразования.

В результате получим следующее.

Для ограничения на режущие возможности инструмента (1.5)

$$n \cdot (1000 \cdot S)^{Y_v} \leq \frac{318 \cdot C_v \cdot K_v \cdot D^{Z-1}}{T^m \cdot t^{X_v} \cdot Z^{U_v} \cdot B^{r_v}} \cdot 1000^{Y_v}. \quad (1.39)$$

Для ограничения по мощности электродвигателя привода главного движения (1.8)

$$n^{n_z} \cdot (1000 \cdot S)^{Y_z} \leq \frac{N_{II} \cdot \eta \cdot K_{cz}}{C_z \cdot t^{X_z} \cdot D^{Z_z} \cdot B^{r_z} \cdot Z^{U_z} \cdot B^{q_z} \cdot K_z} \cdot 1000^{Y_z}. \quad (1.40)$$

Для ограничения по заданной производительности станка (1.13)

$$n \cdot 1000 \cdot S \geq \frac{L \cdot R}{60 \cdot K_3 \cdot r_R - T_{B.H} \cdot R} \cdot 1000. \quad (1.41)$$

Для ограничения по наименьшей допустимой скорости резания (1.15)

$$n \geq \max \left(\frac{1000 \cdot V_{\min}}{\pi \cdot D}; n_{CT \min} \right).$$

Для ограничения по наибольшей возможной скорости резания (1.19)

$$n \leq \min \left(\frac{1000 \cdot V_{\max}}{\pi \cdot D}; n_{CT \max} \right).$$

Для ограничения по наибольшей подаче, допускаемой прочностью механизма подачи станка (1.22),

$$n^{n_s} \cdot (1000 \cdot S)^{Y_s} \leq \frac{P_{\text{под.ст}}}{C_s \cdot t^x \cdot D^{n_s} \cdot \pi^{n_s} \cdot Z^{U_s} \cdot B^{r_s} \cdot K_s} \cdot 1000^{Y_s}. \quad (1.42)$$

Для ограничения по наибольшей подаче, допускаемой прочностью и жесткостью инструмента (1.28) и (1.29),

$$n^{Z_p} \cdot (1000 \cdot S)^{Y_p} \leq \frac{1000^{Z_p} \cdot B \cdot H^2 \cdot \sigma_{\text{изг}}}{6 \cdot C_p \cdot t^{X_p} \cdot K_p \cdot \pi^{Z_p} \cdot d_{\text{дет}}^{Z_p} \cdot L \cdot K_3} \cdot 1000^{Y_p}; \quad (1.43)$$

$$n^{Z_p} \cdot (1000 \cdot S)^{Y_p} \leq \frac{1000^{Z_p} \cdot 0,1 \cdot d_{ДЕРЖ}^2 \cdot \sigma_{ИЗГ}}{C_p \cdot t^{X_p} \cdot K_p \cdot \pi^{Z_p} \cdot d_{ДЕТ}^{Z_p} \cdot L \cdot K_3} \cdot 1000^{Y_p}. \quad (1.44)$$

Для ограничения по наибольшей подаче, допускаемой заданной шероховатостью обработанной поверхности (1.31),

$$(1000 \cdot S)^{0,58} \cdot n^{-0,06} \leq \frac{Ra \cdot \pi^{0,06} \cdot D^{0,06} \cdot r^{0,65} \cdot HB^{0,05}}{0,85 \cdot 1000^{0,06} \cdot t^{0,31} \cdot \varphi^{0,4} \cdot \varphi_1^{0,4}} \cdot 1000^{0,58}. \quad (1.45)$$

Для ограничения по наименьшей подаче, допускаемой кинематикой станка (1.32),

$$1000 \cdot S \geq S_{CT.min} \cdot 1000. \quad (1.46)$$

Для ограничения по наибольшей подаче, допускаемой кинематикой станка (1.33),

$$1000 \cdot S \leq S_{CT.max} \cdot 1000. \quad (1.47)$$

Для ограничения по допустимому смещению заготовки от сил резани (1.38)

$$n^{n_{PY}} \cdot (1000 \cdot S)^{Y_{PY}} \leq \frac{0,5 \cdot Td \cdot 1000^{n_{PY}} \cdot 3 \cdot E \cdot L_{3AG} \cdot \pi \cdot D^4}{64 \cdot C_{PY} \cdot t^{X_{PY}} \cdot D^{n_{PY}} \cdot \pi^{n_{PY}} \cdot k_{PY} \cdot \left(\frac{L_{3AG}}{2}\right)^2 \cdot \left(L_{3AG} - \frac{L_{3AG}}{2}\right)^2} \cdot 1000^{Y_{PY}}. \quad (1.48)$$

Логарифмируем правые и левые части выражений (1.37)–(1.46). В результате получаем следующее.

Для ограничения на режущие возможности инструмента (1.5)

$$\ln(n) + Y_v \cdot \ln(1000 \cdot S) \leq \ln\left(\frac{318 \cdot C_v \cdot K_v \cdot D^{Z-1}}{T^m \cdot t^{X_v} \cdot Z^{U_v} \cdot B^{r_v}} \cdot 1000^{Y_v}\right) = b_1. \quad (1.49)$$

Для ограничения по мощности электродвигателя привода главного движения (1.8)

$$n_z \cdot \ln(n) + Y_z \cdot \ln(1000 \cdot S) \leq \ln\left(\frac{N_{II} \cdot \eta \cdot K_{cz} \cdot 1000^{Y_z}}{C_z \cdot t^{X_z} \cdot D^{Z_z} \cdot B^{r_z} \cdot Z^{U_z} \cdot B^{q_z} \cdot K_z}\right) = b_2. \quad (1.50)$$

Для ограничения по заданной производительности станка (1.13)

$$\ln(n) + \ln(1000 \cdot S) \geq \ln \left(\frac{L \cdot R \cdot 1000}{60 \cdot K_3 \cdot r_R - T_{B.H} \cdot R} \right) = b_3. \quad (1.51)$$

Для ограничения по наименьшей допустимой скорости резания (1.15)

$$\ln(n) \geq \ln \left(\max \left(\frac{1000 \cdot V_{\min}}{\pi \cdot D}; n_{CT \min} \right) \right) = b_4. \quad (1.52)$$

Для ограничения по наибольшей возможной скорости резания (1.19)

$$\ln(n) \leq \ln \left(\min \left(\frac{1000 \cdot V_{\max}}{\pi \cdot D}; n_{CT \max} \right) \right) = b_5. \quad (1.53)$$

Для ограничения по наибольшей подаче, допускаемой прочностью механизма подачи станка (1.22),

$$n_s \cdot \ln(n) + Y_s \cdot \ln(1000 \cdot S) \leq \ln \left(\frac{P_{\text{ПОД.СТ}} \cdot 1000^{Y_s}}{C_s \cdot t^x \cdot D^{n_s} \cdot \pi^{n_s} \cdot Z^{U_s} \cdot B^{r_s} \cdot K_s} \right) = b_6. \quad (1.54)$$

Для ограничения по наибольшей подаче, допускаемой прочностью и жесткостью инструмента (1.28) и (1.29),

$$Z_p \cdot \ln(n) + Y_p \cdot \ln(1000 \cdot S) \leq \ln \left(\frac{1000^{Z_p} \cdot B \cdot H^2 \cdot \sigma_{ИЗГ} \cdot 1000^{Y_p}}{6 \cdot C_p \cdot t^{X_p} \cdot K_p \cdot \pi^{Z_p} \cdot d_{ДЕТ}^{Z_p} \cdot L \cdot K_3} \right) = b_7; \quad (1.55)$$

$$Z_p \cdot \ln(n) + Y_p \cdot \ln(1000 \cdot S) \leq \ln \left(\frac{1000^{Z_p} \cdot 0,1 \cdot d_{ДЕРЖ}^2 \cdot \sigma_{ИЗГ} \cdot 1000^{Y_p}}{C_p \cdot t^{X_p} \cdot K_p \cdot \pi^{Z_p} \cdot d_{ДЕТ}^{Z_p} \cdot L \cdot K_3} \right) = b_7. \quad (1.56)$$

Для ограничения по наибольшей подаче, допускаемой заданной шероховатостью обработанной поверхности (1.31),

$$0,58 \cdot \ln(1000 \cdot S) - 0,06 \cdot \ln(n) \leq \ln \left(\frac{Ra \cdot \pi^{0,06} \cdot D^{0,06} \cdot r^{0,65} \cdot HB^{0,05} \cdot 1000^{0,58}}{0,85 \cdot 1000^{0,06} \cdot t^{0,31} \cdot \varphi^{0,4} \cdot \varphi_1^{0,4}} \right) = b_8. \quad (1.57)$$

Для ограничения по наименьшей подаче, допускаемой кинематикой станка (1.32),

$$\ln(1000 \cdot S) \geq \ln(S_{CT \min} \cdot 1000) = b_9. \quad (1.58)$$

Для ограничения по наибольшей подаче, допускаемой кинематикой станка (1.33),

$$\ln(1000 \cdot S) \leq \ln(S_{CT \max} \cdot 1000) = b_{10}. \quad (1.59)$$

Для ограничения по допустимому смещению заготовки от сил резания (1.38)

$$\begin{aligned} n_{PY} \cdot \ln(n) + Y_{PY} \cdot \ln(1000 \cdot S) \leq \\ \leq \ln \left(\frac{0,5 \cdot Td \cdot 1000^{n_{PY}} \cdot 3 \cdot E \cdot L_{3AG} \cdot \pi \cdot D^4 \cdot 1000^{Y_{PY}}}{64 \cdot C_{PY} \cdot t^{X_{PY}} \cdot D^{n_{PY}} \cdot \pi^{n_{PY}} \cdot k_{PY} \cdot \left(\frac{L_{3AG}}{2} \right)^2 \cdot \left(L_{3AG} - \frac{L_{3AG}}{2} \right)^2} \right) = b_{11}. \end{aligned} \quad (1.60)$$

Обозначив через $X_1 = \ln(n)$, $X_2 = \ln(1000 S)$, получим следующую математическую модель оптимального режима резания:

$$W \left\| \begin{aligned} (A') \left\{ \begin{aligned} X_1 + Yv \times X_2 &\leq b_1 \\ nz \times X_1 + Yz \times X_2 &\leq b_2 \\ X_1 + X_2 &\geq b_3 \\ X_1 &\geq b_4 \\ X_1 &\leq b_5 \\ Yx \times X_2 &\leq b_6 \\ X_2 &\geq b_7 \\ X_2 &\leq b_8 \end{aligned} \right. \end{aligned} \right\| . \quad (1.61)$$

$$\left\| \begin{aligned} f(X) = X_1 + X_2 \rightarrow \max. \end{aligned} \right\|$$

Задача определения оптимального режима резания сводится к отысканию среди всевозможных неотрицательных значений X_1 и X_2 системы таких значений X_{1OPT} и X_{2OPT} , при которых линейная функция $f(X)$ принимает максимальное значение. Математическая модель процесса резания может быть изображена в графическом виде. В этом случае каждое техническое ограничение представляется граничной прямой, которая определяет полуплоскость, где возможно существование решений системы неравенств. Граничные прямые, пересекаясь, образуют многоугольник, внутри которого любая точка удовлетворяет всем без

исключения неравенствам. Поэтому этот многоугольник принято называть многоугольником решений.

Теория линейного программирования показывает, что экстремальное значение оценочной функции (при выпуклом многоугольнике решений) обеспечивается для X_1 и X_2 , находящихся в точке, лежащей на одной из граничных прямых или их пересечении. Для определения оптимального решения задачи, заданной системой линейных уравнений и неравенств, обычно используется симплекс-метод.

По найденным значениям $X_{1\text{опт}}$ и $X_{2\text{опт}}$ находятся искомые величины:

– число оборотов шпинделя

$$n_{\text{опт}} = e^{X_{1\text{опт}}} ; \quad (1.62)$$

– подачи на оборот

$$S_{\text{опт}} = \frac{e^{X_{2\text{опт}}}}{1000} . \quad (1.63)$$

Порядок выполнения работы

- 1 Изучить методические рекомендации.
- 2 Получить у преподавателя необходимые данные для расчета.
- 3 При помощи функции «Поиск решения» табличного редактора Microsoft Excel выполнить оптимизацию процесса резания согласно полученным данным.

Задания для индивидуального выполнения

Обработку производить за один подход на токарных станках, если позволяют заданные условия. При обработке за два прохода (черновой и получистовой) режим резания должен быть рассчитан для чернового прохода и должно быть подсчитано общее основное технологическое время.

Таблица 1.1 – Задания

Вариант	Диаметр заготовки D , мм	Диаметр после обработки d , мм	Длина обработки, мм	Шероховатость обработанной поверхности, мкм	Обрабатываемый материал	Марка	σ_s , МПа	HB	Способ крепления на станке
01	60	55	780	Rz 20	Сталь	45	600	–	Патрон и центр
02	75	70	300	Ra 3,2	Сталь	2X13	600	–	В центрах
03	65	62	270	Ra 2,5	Сталь	CX15	700	–	В центрах
04	100	96	500	Rz 25	Чугун	СЧ15	–	197	Патрон и центр
05	85	80,5	400	Ra 2,5	Чугун	КЧ-37-12	–	163	В центрах
06	70	62	450	Ra 1,6	Сталь	40X	700	–	В центрах
07	40	34	600	Ra 3,2	Сталь	65Г	700	–	В центрах
08	120	114	600	Rz 25	Чугун	СЧ25	–	207	Патрон и центр
09	115	110	650	Rz 32	Чугун	КЧ33-3	–	163	Патрон и центр
10	80	70	200	Ra 1,6	Сталь	20X	550	–	Патрон

Пример решения задачи

Таблица 1.2 – Исходные данные

Диаметр заготовки D , мм	Диаметр после обработки d , мм	Длина обработки B , мм	Обрабатываемый материал	Твердость обрабатываемого материала HB	Способ установки	Вид обработки	Модель станка
70	68	100	Сталь Р9Ф2	20	На проход; в патроне	Чистовая	16K20T1

Глубину резания t , мм, определим по формуле

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{70 - 68}{2} = 1. \quad (1.64)$$

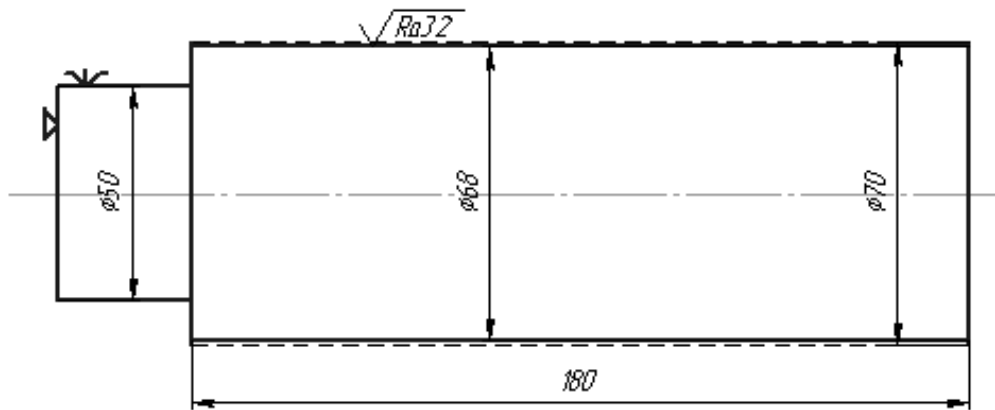


Рисунок 1.2 – Схема токарной обработки детали

Для определения оптимальных режимов резания введем ряд следующих ограничений:

- режущие возможности инструмента;
- мощность электродвигателя привода главного движения;
- заданную производительность станка;
- наименьшую возможную скорость резания;
- наибольшую частоту вращения шпинделя;
- наибольшую подачу, допустимую прочностью и жесткостью станка;
- наименьшую подачу, допускаемую кинематикой станка;
- наибольшую подачу, допустимую кинематикой станка.

Для обработки выбираем резец проходной : $L = 150$ мм сечением державки 20×25 мм с углом $\varphi = 45^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 6^\circ$, $r = 0,8$ мм по ГОСТ 18878–73, оснащённый твердосплавной пластиной Т15К6.

Режущие возможности инструмента.

Уравнение, характеризующее первое ограничение для точения, будет иметь вид:

$$\ln(n) + Y_v \cdot \ln(1000 \cdot S) \leq \ln \left(\frac{318 \cdot C_v \cdot K_v}{T^m \cdot t^{X_v} \cdot D} \cdot 1000^{Y_v} \right) = b_1, \quad (1.65)$$

где T – период стойкости наибольшей производительности, мин;

C_v – постоянный коэффициент, зависящий от условий обработки;

m , X_v , Y_v – показатели степеней;

K_v – общий поправочный коэффициент;

D – диаметр обработки, мм.

Согласно [2, таблица 17], для $C_v = 420$ $m = 0,20$, $X_v = 0,25$, $Y_v = 0,20$.

Общий поправочный коэффициент для скорости резания K_v определим по формуле

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}, \quad (1.66)$$

где K_v – коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки;

K_{nv} – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки, $K_{nv} = 1,0$ [2, таблица 5];

K_{uv} – коэффициент, учитывающий материал инструмента, $K_{uv} = 1,0$ [2, таблица 6].

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_s} \right)^{n_v} = \left(\frac{750}{2200} \right)^1 = 0,238, \quad (1.67)$$

где n_v – показатель степени, $n_v = 1$ [2, таблица 1].

$$\ln \left(\frac{318 \cdot 420 \cdot 0,238}{30^{0,2} \cdot 1^{0,25} \cdot 70} \cdot 1000^{0,2} \right) = 6,82.$$

Обозначив через $X_1 = \ln(n)$, $X_2 = \ln(1000S)$, получим следующее уравнение. Уравнение первого ограничения

$$X_1 + 0,2X_2 \leq 6,82.$$

Мощность электродвигателя привода главного движения станка.

Согласно исходным данным для обработки применяется станок 16К20Ф3 с наибольшей длиной обработки 900 мм и мощностью привода главного движения $N_n = 11$ кВт; коэффициент полезного действия привода главного движения станка $\eta = 0,8$.

Уравнение, характеризующее второе ограничение для точения, будет иметь вид:

$$(n_z + 1) \cdot \ln(n) + Y_v \cdot \ln(1000 \cdot S) \leq \ln \left(\frac{60 \cdot 1020 \cdot N_n \cdot \eta}{10 \cdot C_z \cdot t^{X_z} \cdot K_{pz}} \cdot \left(\frac{318}{D} \right)^{n+1} 1000^{Y_z} \right) = b_2, \quad (1.68)$$

где C_z – постоянный коэффициент, зависящий от условий обработки;

X_z, Y_z, n_z – показатели степеней.

Согласно [2, таблица 22], для $C_z = 300$ $X_z = 1$, $Y_z = 0,75$, $n_z = -0,15$.

Общий поправочный коэффициент K_{pz} определим по формуле

$$K_{pz} = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp}, \quad (1.69)$$

где K_{mp} – коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки;

$K_{\varphi p}$ – коэффициент, учитывающий влияние значения главного угла в плане;

$K_{\gamma p}$ – коэффициент, учитывающий влияние значения переднего угла;

$K_{\lambda p}$ – коэффициент, учитывающий влияние значения угла наклона главного лезвия.

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_s}{750} \right)^n = \left(\frac{2200}{750} \right)^{0,75} = 2,241. \quad (1.70)$$

По [2, таблица 23] $K_{\phi p} = 1$, $K_{\gamma p} = 1,0$, $K_{\lambda p} = 1$, $K_{rp} = 1$.

$$K_{pz} = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} = 2,241 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2,241;$$

$$\ln \left(\frac{60 \cdot 1020 \cdot 11 \cdot 0,8}{10 \cdot 300 \cdot 1^1 \cdot 2,241} \cdot \left(\frac{318}{70} \right)^{0,85} \cdot 1000^{0,75} \right) = 11,078.$$

Уравнение второго ограничения

$$0,85X_1 + 0,75X_2 \leq 11,078.$$

Заданная производительность станка.

Уравнение, характеризующее третье ограничение (заданную производительность станка) для точения, будет иметь вид:

$$\ln(n) + \ln(1000 \cdot S) \geq \ln \left(\frac{L \cdot R}{60 \cdot K_s \cdot r_R - T_{BH} \cdot R} \cdot 1000 \right) = b_3, \quad (1.71)$$

где L – длина рабочего хода инструмента, мм.

$$L_{PX} = l + y, \quad (1.72)$$

где $l = 180$ – длина резания, мм;

$y = 3$ – величина врезания резца, мм;

$$L_{PX} = 100 + 3 = 183 \text{ мм.}$$

Зададимся производительностью станка $R = 10$ шт./ч.

Коэффициент загрузки станка принимается в зависимости от типа производства. В данном случае обработка осуществляется в условиях среднесерийного производства. Для этого типа производства $K_s = 0,75 \dots 0,85$.

Сумма всех вспомогательных неперекрываемых времён при работе состоит из затрат на отдельные приёмы T_{BH} :

$$T_{BH} = T_{yc} + T_{zo} + T_{yn} + T_{из}, \quad (1.73)$$

где T_{yc} – время на установку и снятие детали, мин;

T_{30} – время на закрепление и открепление детали, мин;

$T_{уп}$ – время на приёмы управления, мин;

$T_{из}$ – время на измерение детали, мин.

$$T_{BH} = T_{yc} + T_{уп} + T_{из} = 0,8 + 0,03 + 0,8 = 1,63 ;$$

$$\ln\left(\frac{183 \cdot 10}{60 \cdot 0,75 \cdot 1 - 1,63 \cdot 10} \cdot 1000\right) = 11,254 .$$

Уравнение третьего ограничения

$$X_1 + X_2 \geq 11,254 .$$

Наименьшая допустимая скорость резания.

Уравнение, характеризующее четвёртое ограничение (наименьшую скорость резания) для точения, будет иметь вид:

$$\ln(n) \geq \ln\left(\max \frac{318 \cdot V_{\min}}{D} \cdot n_{CT \min}\right) = b_4 , \quad (1.74)$$

где $V_{\min}$ – минимальная скорость резания твердосплавным инструментом;

$n_{CT \min}$ – минимальная частота вращения шпинделя станка.

Первая часть уравнения в скобках характеризует выбор минимальной скорости резания исходя из вида обработки и условий обработки. Так как для обработки применяется твердосплавный инструмент, то целесообразность использования наступает от скорости резания $V_{\min} = 30$ м/мин. Тогда частота вращения шпинделя, соответствующая обработке детали при принятой минимальной скорости $n_{\min}$, мин⁻¹, определится по формуле

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 30}{3,14 \cdot 70} = 136,48 \text{ мин}^{-1} . \quad (1.75)$$

По паспорту станка наименьшая частота вращения шпинделя $n_{\min} = 20$ мин⁻¹. Соответственно, лимитирующей частотой вращения будет частота, соответствующая скорости $V_{\min} = 30$ м/мин, и коэффициент, рассчитываемый по формуле

$$b_4 = \ln\left(\frac{318 \cdot 30}{70}\right) = 3,109 .$$

Уравнение четвёртого ограничения будет иметь вид:

$$X_1 \geq 3,109 .$$

Наибольшая возможная скорость резания, допускаемая кинематикой станка.

Получим значения, соответствующие пятому ограничению. Рассмотрим общее уравнение, учитывающее и максимальную скорость резания исходя из режущих способностей твердосплавного инструмента, и максимальную скорость резания, которую можно получить для данных условий обработки исходя из кинематики станка.

$$\ln(n) \geq \ln\left(\min \frac{318 \cdot V_{\max}}{D} \cdot n_{CT \max}\right) = b_5. \quad (1.76)$$

Как правило, теплостойкость твердосплавного инструмента достаточно высока и главным ограничивающим фактором при выборе верхнего предела скорости резания при расчёте данного ограничения является наибольшая частота вращения по станку $n_{CT \max}$. По паспорту станка наибольшая частота вращения шпинделя $n_{CT \max} = 2240 \text{ мин}^{-1}$.

$$\ln(n) \leq \ln(n_{CT \max}) = b_5; \quad (1.77)$$

$$b_5 = \ln(2500) = 7,714.$$

Уравнение пятого ограничения будет иметь вид:

$$X_1 \leq 7,714.$$

Наибольшая допустимая подача.

Уравнение, характеризующее шестое ограничение (прочность механизма подачи станка) для точения, будет иметь вид:

$$n_s \cdot \ln(n) + Y_s \ln(1000 \cdot S) \leq \ln\left(\frac{P_{CT \text{ доп}} \cdot (1000)^{n_s}}{10 \cdot C_s \cdot t^{X_s} \cdot D^{n_s} \cdot K_s \cdot \pi} \cdot 1000^{Y_s}\right) = b_6, \quad (1.78)$$

где $P_{CT \text{ доп}}$ – наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи;

C_s – постоянный коэффициент, зависящий от условий обработки;

X_s, Y_s, n_s – показатели степени.

Согласно паспорту станка наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи, $P_{CT \text{ доп}} = 6000 \text{ Н}$.

Согласно [2, таблица 22], для $C_s = 339$ $X_s = 1,0$, $Y_s = 0,5$, $n_s = -0,4$.

Общий поправочный коэффициент K_s определим по формуле

$$K_s = K_{mp} \cdot K_{yp} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp}, \quad (1.79)$$

где K_{mp} – коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки;
 K_{rp} – коэффициент, учитывающий влияние значения вершины резца;
 K_{yp} – коэффициент, учитывающий влияние значения переднего угла;
 $K_{\lambda p}$ – коэффициент, учитывающий влияние значения угла наклона главного лезвия.

$$K_{mp} = 2,241; K_{rp} = 1,0; K_{\lambda p} = 1,0, K_{yp} = 1,0, K_s = 2,241.$$

$$\ln \left(\frac{6000 \cdot 1000^{-0,4}}{10 \cdot 339 \cdot 1^1 \cdot 70^{-0,4} \cdot 2,241 \cdot 3,14} \cdot 1000^{0,5} \right) = 1,01.$$

Уравнение шестого ограничения будет иметь вид:

$$0,4X_1 + 0,5X_2 \leq 1,01.$$

Наименьшая подача, допускаемая кинематикой станка.

Уравнение, характеризующее седьмое ограничение (наименьшая подача, допускаемая кинематикой станка) для точения, будет иметь вид:

$$\ln(1000 \cdot S) \geq \ln(S_{CTmin} \cdot 1000) = b_7, \quad (1.80)$$

где S_{CTmin} – наименьшая подача, допускаемая кинематикой станка.

$$b_7 = \ln(0,01 \cdot 1000) = 2,3.$$

Уравнение седьмого ограничения будет иметь вид:

$$X_1 \geq 2,3.$$

Наибольшая подача, допускаемая кинематикой станка.

Уравнение, характеризующее восьмое ограничение (наибольшая подача, допускаемая кинематикой станка) для точения, будет иметь вид:

$$\ln(1000 \cdot S) \leq \ln(S_{CTmax} \cdot 1000) = b_8, \quad (1.81)$$

где S_{CTmax} – наибольшая подача, допускаемая кинематикой станка.

$$b_8 = \ln(20,47 \cdot 1000) = 5,29.$$

Уравнение восьмого ограничения

$$X_2 \leq 5,29.$$

Существует еще несколько ограничений: прочность режущего инструмента и жёсткость технологической системы. Эти ограничения устраним организационно. Для повышения жесткости обработки будем использовать люнет. Для устранения ограничения по прочности режущего инструмента мы будем использовать инструмент с сечением, достаточным для обеспечения обработки на максимальных условиях обработки.

В результате произведённых расчётов получили систему уравнений, характеризующих процесс резания для данных условий обработки:

$$X_1 + 0,2X_2 \leq 6,82;$$

$$0,85X_1 + 0,75X_2 \leq 11,07;$$

$$X_1 + X_2 \geq 11,25;$$

$$X_1 \geq 3,1;$$

$$X_1 \leq 7,71;$$

$$0,4X_1 + 0,5X_2 \leq 1,01;$$

$$X_2 \geq 2,3;$$

$$X_2 \leq 5,29.$$

Целевая функция имеет вид:

$$X_1 + X_2 \rightarrow \max.$$

Найдем графически оптимальные значения X_1 и X_2 .

На рисунке 1.3 изображены прямые неравенств системы и выделена область возможных решений этой системы.

Максимальное значение целевой функции при пересечении области значений

$$X_{1OPT} = 4,3; \quad X_{2OPT} = 2,23.$$

Оптимальную частоту вращения шпинделя n_{OPT} определим по формуле

$$n_{OPT} = e^{X_1} = 317,46 \text{ мин.} \quad (1.82)$$

Оптимальную подачу S_O определим по формуле

$$S_O = \frac{e^{X_2}}{1000} = 0,2 \text{ мм/об.} \quad (1.83)$$

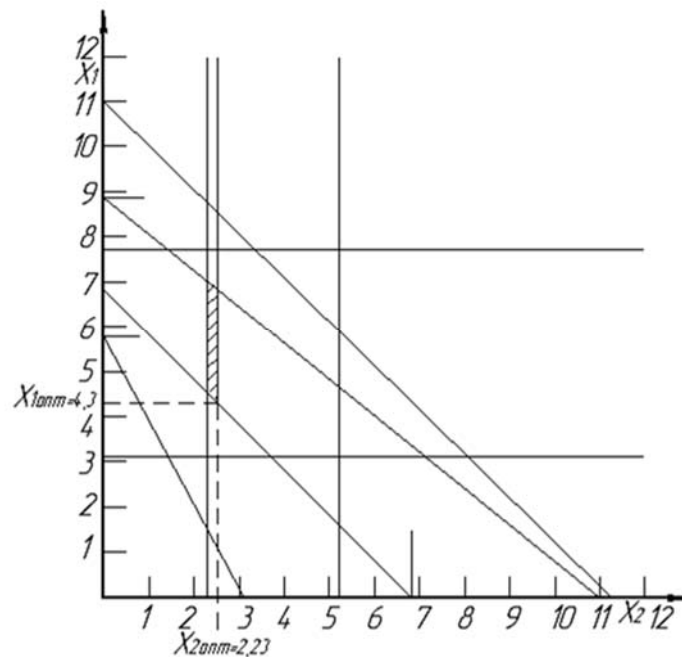


Рисунок 1.3 – Графическое изображение математической модели процесса резания

Полученные значения режимов резания являются оптимальными для заданных исходных данных. Так как обработка производится на станке с ЧПУ, который обеспечивает бесступенчатое регулирование, то полученные значения режимов резания оставляем без изменения.

Контрольные вопросы

- 1 Какие ограничения относятся к заготовке при расчете режимов резания?
- 2 Какие ограничения относятся к станку при расчете режимов резания?
- 3 Что учитывает поправочный коэффициент?
- 4 Как определяется скорость резания?
- 5 Как определяется продолжительность цикла работы станка?
- 6 Задача метода линейного программирования при определении основных характеристик режима резания.

2 Практическое занятие № 2. Оптимизация параметров процесса ионно-плазменной обработки режущих инструментов

Цель занятия – ознакомить студентов с особенностями расчета оптимальных режимов модифицирующей ионно-плазменной обработки режущих инструментов.

Общие сведения

Основной характеристикой режущих инструментов является их стойкость.

Под стойкостью режущего инструмента понимают его способность без переточки или смены грани экономически эффективно обеспечивать обработку заготовок резанием в пределах заданного допуска. Количественно стойкость определяется временем работы инструмента от переточки до переточки или до смены грани неперетачиваемой пластинки.

Период стойкости любого режущего инструмента зависит от целого ряда факторов: теплофизических и механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов, геометрических параметров инструмента, режимов резания, используемых технологических сред и т. д. Помимо указанных факторов, большое влияние оказывают технологические факторы процесса модифицирующей обработки инструмента тлеющим разрядом.

При проведении исследований по выявлению зависимости стойкости инструмента от основных параметров модифицирующей обработки, как правило, используют методику однофакторного эксперимента, как и при установлении силовых зависимостей. Однако зачастую требуется оценить зависимость периода стойкости от совокупного влияния основных факторов, таких как напряжение тлеющего разряда U , кВ, плотность тока тлеющего разряда J , А/м², и время, затраченное на модифицирование, T , мин. В таких случаях эксперимент целесообразно проводить по программе центрального композиционного ротатабельного планирования второго порядка. Выбор плана связан с тем, что, начиная эксперимент, заранее неизвестно, какое направление будет представлять наибольший интерес, а в случаях, когда нет достоверной информации об ориентации поверхности отклика, наиболее разумным является использование центральных композиционных планов, отвечающих требованию ротатабельности. Такие планы позволяют получать модель, способную предсказывать значение параметра оптимизации с одинаковой точностью независимо от направления на равных расстояниях от центра плана [6, 7].

Центральный композиционный план второго порядка для трех факторов состоит из плана полного факторного эксперимента типа 2^3 (опыты 1...8), шести опытов в «звездных точках» (опыты 9...14) и шести опытов в центре плана (опыты 15...20).

Тогда зависимость стойкости инструмента можно представить уравнением вида

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (2.1)$$

где y – математическое ожидание искомой величины;

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$ – теоретические коэффициенты регрессии;

x_1, x_2, x_3 – кодированные значения факторов.

Принятые при исследовании уровни и интервалы варьирования факторов можно указать в виде таблицы 2.1.

Таблица 2.1 – Уровни и интервалы варьирования исследуемых факторов

Факторы	Кодовое обозначение	Интервал варьирования	Натуральные уровни факторов, соответствующие кодированным				
			–1,682	–1,0	0	+1,0	+1,682
U – напряжение тлеющего разряда, кВ	x_1	...	...	...	...	...	...
J – плотность тока, А/м ²	x_2	...	...	...	...	...	...
T – время обработки, мин	x_3	...	...	...	...	...	...

В качестве исследуемого параметра целесообразно принять коэффициент повышения стойкости k_L , который показывает повышение пути резания инструмента после обработки его тлеющим разрядом по отношению к пути резания, пройденному инструментом в состоянии поставки до достижения критического износа, т. е.

$$k_{Li} = \frac{L_{OБPi}}{L_{Hi}}, \quad (2.2)$$

где $L_{OБPi}$ – путь, пройденный i -м инструментом, обработанным тлеющим разрядом, до достижения критического износа, м;

L_{Hi} – путь, пройденный i -м инструментом в состоянии поставки до достижения критического износа, м.

Эксперимент по исследованию коэффициента повышения стойкости k_L целесообразно осуществлять в соответствии с матрицей планирования, представленной в виде таблицы 2.2. В качестве результатов опытов по каждой точке эксперимента в таблицу заносились средние значения коэффициента стойкости $\bar{k}_{Li}$ (Y_i) по каждому инструменту.

Число повторений каждого опыта устанавливают в зависимости от желаемой надежности получаемых результатов (доверительной вероятности). Обычно при обработке материалов резанием число повторений выбирают согласно следующим данным.

Доверительная вероятность	0,90	0,95	0,99
Число повторений	3...5	5...7	7...11

Таблица 2.2 – План эксперимента по исследованию коэффициента стойкости

Опыт	Факторы в кодированных обозначениях			Факторы в натуральном выражении			Примечание	Коэффициент $\overline{k_{Li}}(Y_i)$
	X_1	X_2	X_3	U , кВ	J , А/м ²	T , мин		
1	+	+	+	...	...	...	Центр плана эксперимента	...
2	+	+	–	...	...	...		...
3	+	–	+	...	...	...		...
4	+	–	–	...	...	...		...
5	–	+	+	...	...	...		...
6	–	+	–	...	...	...		...
7	–	–	+	...	...	...		...
8	–	–	–	...	...	...		...
9	+1,682	0	0	...	...	...	Плечо плана эксперимента	...
10	–1,682	0	0	...	...	...		...
11	0	+1,682	0	...	...	...		...
12	0	–1,682	0	...	...	...		...
13	0	0	+1,682	...	...	...		...
14	0	0	–1,682	...	...	...		...
15	0	0	0	...	...	...	Ядро плана эксперимента	...
16	0	0	0	...	...	...		...
17	0	0	0	...	...	...		...
18	0	0	0	...	...	...		...
19	0	0	0	...	...	...		...
20	0	0	0	...	...	...		...

Теоретические коэффициенты регрессии $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$ можно определить по формулам, представленным в [6, формулы (77)–(80)].

С учетом количества факторов k , равного 3, данные формулы примут следующий вид:

$$b_0 = 0,16666 \sum_{j=1}^{20} Y_j - 0,05694 \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{20} X_{ij}^2 Y_j; \quad (2.3)$$

$$b_i = 0,07322 \sum_{j=1}^{20} X_{ij} Y_j; \quad (2.4)$$

$$b_{ik} = 0,125 \sum_{j=1}^{20} X_{ij} X_{kj} Y_j; \quad (2.5)$$

$$b_0 = 0,06254 \sum_{j=1}^{20} X_{ij}^2 Y_j + 0,00695 \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{20} X_{ij}^2 Y_j - 0,05694 \sum_{j=1}^{20} Y_j. \quad (2.6)$$

Используя вышеприведенные формулы, находим коэффициенты регрессии и подставляем их в уравнение (2.1).

Перевод натуральных значений в кодированные значения факторов осуществляется по выражениям

$$x_1 = \frac{U - U_0}{\varepsilon_1}; \quad x_2 = \frac{J - J_0}{\varepsilon_2}; \quad x_3 = \frac{T - T_0}{\varepsilon_3}, \quad (2.7)$$

где U_0, J_0, T_0 – основные уровни факторов в натуральных выражениях;
 $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – интервалы варьирования факторов.

Перейдя от кодированных значений к натуральным значениям, получим зависимость приращения стойкости инструмента T , мин.

Проверку гипотезы адекватности модели проводят с помощью расчетного F -критерия Фишера [6]:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2}, \quad (2.8)$$

где S_{ad}^2 – дисперсия параметра оптимизации;
 S_y^2 – дисперсия воспроизводимости.

Дисперсию воспроизводимости S_y^2 определяют по результатам опытов, проведенных в центре плана, в соответствии со вспомогательной таблицей 2.3:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} (Y_u - \bar{Y})^2}{n_0 - 1}, \quad (2.9)$$

где n_0 – число параллельных опытов в центре плана;
 Y_u – значение параметра оптимизации в u -м опыте;
 $\bar{Y}$ – среднее арифметическое значение параметра оптимизации в n_0 опытах;
 u – номер параллельного опыта в центре плана.

Определяем сумму S_R квадратов отклонений расчетных значений $\bar{Y}_i$ функции отклика от экспериментальных Y_i по формуле

$$S_R = \sum_{i=1}^{n_0} (Y_i - \bar{Y}_i)^2, \quad (2.10)$$

где Y_i – экспериментальное значение параметра оптимизации в i -м опыте;
 $\bar{Y}_i$ – расчетное значение параметра оптимизации в i -м опыте.

Таблица 2.3 – Вспомогательная таблица для расчета дисперсии воспроизводимости S_y^2

Опыт	Стойкость Y_U	$\bar{Y}$	$Y_u - \bar{Y}$	$(Y_u - \bar{Y})^2$
15	...	...	...	...
16	...		...	...
17	...		...	...
18	...		...	...
19	...		...	...
20	...		...	...
–	$\sum_{u=1}^{n_0} Y_u = \dots$	–	–	$\sum_{u=1}^{n_0} (Y_u - \bar{Y})^2 = \dots$

Дисперсию параметра оптимизации S_{ad}^2 определяем в соответствии с рекомендациями, приведенными в [6]:

$$S_{ad}^2 = \frac{S_R - S_E}{N - k' - (n_0 - 1)}, \quad (2.11)$$

где k' – число статистически значимых коэффициентов регрессии.

Порядок выполнения работы

- 1 Изучить методические рекомендации.
- 2 Получить у преподавателя результаты стойкостных испытаний.
- 3 По программе центрального композиционного ротатабельного планирования второго порядка (таблица 2.4) получить зависимость коэффициента стойкости инструмента от основных факторов (таблица 2.5) (напряжение тлеющего разряда, плотность тока тлеющего разряда, время, затраченное на модифицирование).

Задания для индивидуального выполнения

Таблица 2.4 – Задания

Вариант	Напряжение U , кВ					Плотность тока I , А/м ²					Время T , мин				
01	0,8	1,3	2	2,7	3,2	0,125	0,175	0,250	0,325	0,375	15	20	30	40	47
02	0,5	1	2	2,2	3,3	0,135	0,185	0,250	0,335	0,385	5	22	31	41	47
03	0,7	1,2	2	2,5	3,5	0,145	0,195	0,250	0,345	0,375	17	23	32	42	47
04	0,9	1,6	2	2,7	3,8	0,155	0,175	0,250	0,355	0,375	19	24	33	43	47
05	0,2	1,7	2	2,9	3,9	0,155	0,185	0,250	0,365	0,385	18	25	34	44	47
06	0,7	1,5	2	2	3,2	0,165	0,175	0,250	0,325	0,375	17	26	35	45	47
07	0,6	1,7	2	2,2	3,1	0,125	0,195	0,250	0,335	0,375	18	27	36	46	47
08	0,4	1,5	2	2,3	3,7	0,135	0,175	0,250	0,355	0,375	11	28	37	47	48
09	0,2	1,2	2	2,4	3,9	0,115	0,185	0,250	0,325	0,365	12	29	38	48	49
10	0,8	1,8	2	2,8	3,2	0,125	0,175	0,250	0,325	0,385	15	20	39	49	50

Пример решения задачи

Таблица 2.5 – Уровни и интервалы варьирования исследуемых факторов

Факторы	Кодовое обозначение	Интервал варьирования	Натуральные уровни факторов, соответствующие кодированным				
			–1,682	–1	0	+1	+1,682
Напряжение, кВ	X_1	0,7	0,8	1,3	2	2,7	3,2
Плотность тока, А/м ²	X_2	0,075	0,125	0,175	0,250	0,325	0,375
Время, мин	X_3	10	13	20	30	40	47

Таблица 2.6 – Твердость образцов из стали P18 до и после обработки плазмой тлеющего разряда $HV_{0,025}$

Номер эксперимента					Среднее значение
1	2	3	4	5	
1000	1000	1000	978	1023	1001
1022	1001	956	1022	978	997
984	1001	999	1022	1001	1002
979	956	984	956	978	973
1000	978	1000	1000	1001	997
957	1000	978	1000	979	983
979	979	1022	1000	937	983
1022	957	979	978	978	979
1000	999	978	999	1000	996
978	979	1022	957	999	986
999	959	955	957	979	979
1021	1023	978	1022	1022	1011
957	959	978	978	979	980
1000	1000	999	979	978	993
979	979	957	1001	959	973
957	978	1001	978	979	979
1001	978	1000	1001	1000	997
957	959	979	978	959	969
959	957	979	956	957	965
1022	979	978	979	999	993
1146	1147	1097	1147	1123	1131
1294	1235	1298	1262	1204	1255
1122	1147	1147	1122	1095	1130
1147	1121	1147	1176	1147	1144
1095	1328	1204	1176	1148	1188
1176	1205	1204	1204	1204	1200
1121	1122	1121	1147	1121	1126
1296	1265	1176	1204	1266	1240
1144	1235	1224	1176	1204	1202
1147	1121	1148	1176	1147	1144
1204	1176	1204	1204	1176	1200
1205	1205	1175	1176	1205	1191
1147	1233	1204	1235	1233	1210
1204	1266	1235	1266	1233	1245
1146	1147	1265	1176	1265	1196
1265	1233	1266	1205	1204	1240
1298	1175	1204	1204	1204	1220
1362	1296	1265	1233	1296	1287
1148	1363	1298	1235	1205	1252
1265	1177	1235	1205	1262	1230

Таблица 2.7 – План эксперимента по исследованию приращения твердости образцов из стали P18 и результаты его проведения.

Опыт	Факторы в кодированных обозначениях			Факторы в натуральном выражении			Примечание	Приращение твердости* $\Delta \overline{HV}_{0,025} (Y_j)$, %
	X_1	X_2	X_3	U , кВ	J , А/м ²	T , мин		
1	+	+	+	2,7	0,325	40	Центр плана экс- перимента	117,8
2	+	+	–	2,7	0,325	20		125,4
3	+	–	+	2,7	0,175	40		114,5
4	+	–	–	2,7	0,175	20		126,7
5	–	+	+	1,3	0,325	40		119,2
6	–	+	–	1,3	0,325	20		117,6
7	–	–	+	1,3	0,175	40		123,9
8	–	–	–	1,3	0,175	20		125,9
9	+1,682	0	0	3,2	0,250	30	Плечо плана экс- перимента	120,7
10	–1,682	0	0	0,8	0,250	30		113,0
11	0	+1,682	0	2,0	0,375	30		122,6
12	0	–1,682	0	2,0	0,125	30		122,4
13	0	0	+1,682	2,0	0,250	47		112,8
14	0	0	–1,682	2,0	0,250	13		122,9
15	0	0	0	2,0	0,250	30	Ядро плана экспери- мента	123,5
16	0	0	0	2,0	0,250	30		126,7
17	0	0	0	2,0	0,250	30		122,1
18	0	0	0	2,0	0,250	30		128,5
19	0	0	0	2,0	0,250	30		116,0
20	0	0	0	2,0	0,250	30		129,7
Примечание – Исходное значение поверхностной твердости 950...1000 НВ								

Таблица 2.8 – Рассчитанные коэффициенты регрессии

Коэффициент	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
Значение	124,3	0,8	–0,8	–2,7	1,9	–2,4	1,0	–2,1	–0,1	–1,8

Таблица 2.9 – Вспомогательная таблица, необходимая для определения расчетного F -критерия Фишера

Параметр	S_y^2	S_R	S_E	S_{AD}^2	F_p
Значение	25,36	176,87	126,80	10,00	0,39

Таблица 2.10 – Вспомогательная таблица для расчета дисперсии воспроизводимости S_y^2

Опыт	Приращение твердости (Y_U)	$\bar{Y}$	$Y_U - \bar{Y}$	$(Y_U - \bar{Y})^2$
15	123,50	124,417	-0,917	0,840
16	126,70		2,283	5,214
17	122,10		-2,317	5,367
18	128,50		4,083	16,674
19	116,00		-8,417	70,840
20	129,70		5,283	27,914
–	$\sum_{U=1}^{n_0} Y_U = 746,5$	–	–	$\sum_{U=1}^{n_0} (Y_U - \bar{Y})^2 = 126,849$

Таблица 2.11 – Вспомогательная таблица, необходимая для определения суммы S_R квадратов отклонений расчетных значений

Опыт	Экспериментальное значение параметра оптимизации Y_i	Расчетное значение параметра оптимизации $\bar{Y}_i$	$(Y_i - \bar{Y})^2$
1	117,8	118,1	0,09
2	125,4	126,3	0,81
3	114,5	113,9	0,36
4	126,7	126,1	0,36
5	119,2	117,5	2,89
6	117,6	116,1	2,25
7	123,9	120,9	9,00
8	125,9	123,5	5,76
9	120,7	119,5	1,44
10	113,0	116,8	14,44
11	122,6	122,7	0,01
12	122,4	125,4	9,00
13	112,8	114,5	2,89
14	122,9	123,7	0,64
15	123,5	124,3	0,64
16	126,7	124,3	5,76
17	122,1	124,3	4,84
18	128,5	124,3	17,64
19	116,0	124,3	68,89
20	129,7	124,3	29,16

Контрольные вопросы

- 1 Что такое стойкость режущего инструмента?
- 2 От чего зависит период стойкости?
- 3 Что показывает коэффициент повышения стойкости?

4 Какую методику используют при проведении исследований по выявлению зависимости стойкости инструмента от основных параметров модифицирующей обработки?

3 Практическое занятие № 3. Проектирование резцов

Цель занятия – ознакомить студентов с методикой проектирования токарных резцов для конкретных условий работы.

Общие сведения

Резец – чаще однолезвийный режущий инструмент, предназначенный для обработки с поступательным или вращательным главным движением резания и возможностью движения подачи в любом направлении.

Резцы (как режущий инструмент) широко применяются при работе на токарных, строгальных, долбежных и револьверных станках, полуавтоматах, автоматах и других станках специального назначения.

В зависимости от вида выполняемых работ (рисунок 3.1) резцы можно разделить на:

- а) проходные прямые с углами $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$, $\varphi = 60^\circ$, $\varphi_1 = 30^\circ$, $\varphi = 75^\circ$ и $\varphi_1 = 15^\circ$;
- б) проходные отогнутые с углами $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$;
- в) проходные упорные прямые и отогнутые;
- г) подрезные отогнутые;
- д) отрезные;
- е) расточные для глухих и сквозных отверстий;
- ж) резьбовые;
- з) фасонные резцы (для обработки фасонных деталей).

Основным элементом резца, воспринимающим усилие резания, является державка, которая характеризуется формой и размерами поперечного сечения.

Для резцов с напайными пластинками целесообразно применять державки прямоугольного сечения с отношением высоты державки к ее ширине, равной 1,6 для чистовых и получистовых резцов и 1,25 для черновых резцов. Сечение державок резцов, оснащенных многогранными неперетачиваемыми пластинками, принимают аналогично, как и у резцов с напайными пластинками.

Державки квадратного сечения хорошо сопротивляются деформациям сложного изгиба и рекомендуются для револьверных и расточных резцов. Державки круглого сечения применяются в расточных и резьбовых резцах.

Проектирование токарного резца целесообразно выполнять в последовательности, представленной далее (рисунок 3.2).

1 Инструментальный материал (материал режущей части) назначается исходя из физико-механических свойств обрабатываемого материала, вида

инструмента, вида обработки и применяемого технологического оборудования, используя рекомендации, приведенные в [4, 8].

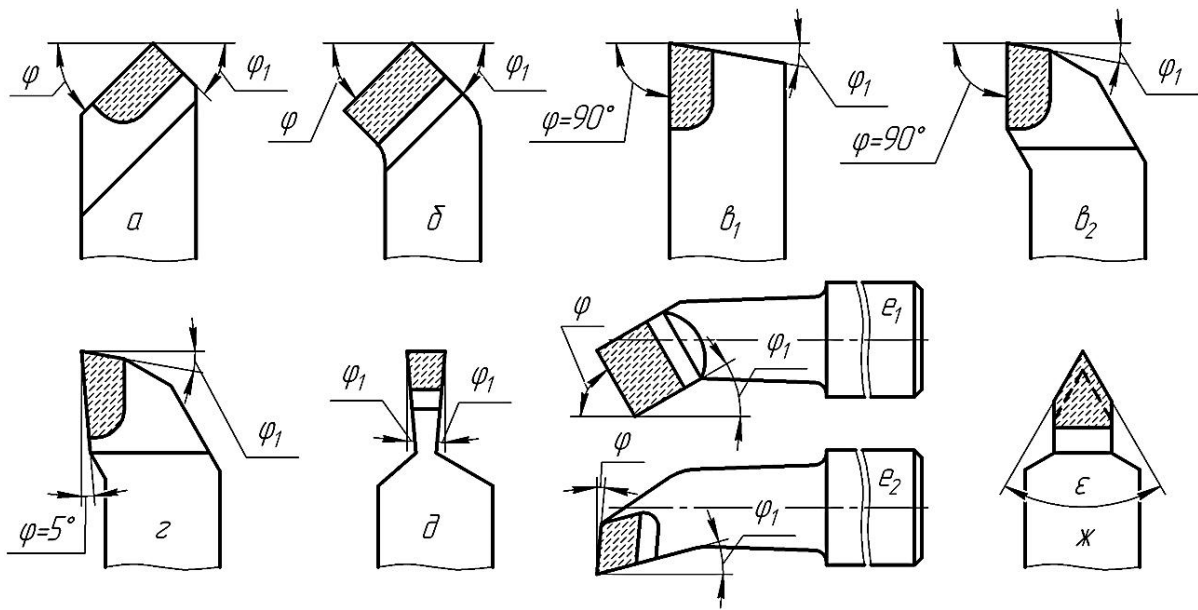


Рисунок 3.1 – Основные типы токарных резцов

2 В качестве материала державки резца целесообразно принимать конструкционные стали 40, 45 и 50 по ГОСТ 1050–88 или 40Х по ГОСТ 4543–71 с последующей термообработкой до значения предела прочности не менее 700 МПа и предела выносливости при изгибе не менее 150 МПа.

3 Геометрические параметры режущей части принимаются исходя из физико-механических свойств обрабатываемого материала, вида обработки, жесткости технологического оборудования и вида резца согласно рекомендациям, приведенным в таблицах 8.8, 8.9, 8.12–8.16 [8].

4 Воспользовавшись оптимальными режимами процесса резания, определенными в соответствии с методикой, описанной в практической работе № 1 настоящих методических рекомендаций, рассчитываем силовые характеристики процесса резания по методике, представленной в [2].

5 Форму и размеры пластинок из твердого сплава выбираем исходя из характера обработки, максимальной глубины резания, подачи и главного угла в плане.

Активная длина главной режущей кромки (лезвия) la , мм,

$$la = \frac{t}{\sin \varphi}. \quad (3.1)$$

Вся длина лезвия пластинки l , мм,

$$L = (1,5 \dots 3,0) \cdot la. \quad (3.2)$$

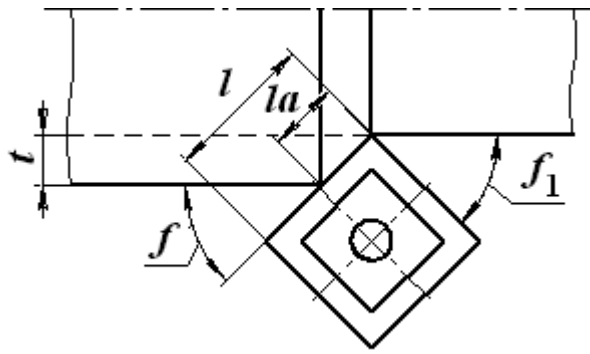


Рисунок 3.2 – Схема к расчету параметров многогранных пластин

Число граней режущей пластины

$$n = \frac{360^\circ}{\varphi + \varphi_1}. \quad (3.3)$$

После расчета количество граней и длину лезвия пластинки принимаем равными значениям соответствующих стандартов.

6 Параметры сечения державки резца принимаем на основании равенства изгибающего момента и максимального момента, допускаемого сечением державки (см. рисунок 3.1).

Ширина державки резца прямоугольного сечения при высоте $H = 1,6B$, мм,

$$B = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot P_z \cdot l}{2,56 \cdot \sigma_H}}. \quad (3.4)$$

Ширина державки резца прямоугольного сечения при высоте $H = 1,25B$, мм,

$$B = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot P_z \cdot l}{1,56 \cdot \sigma_H}}. \quad (3.5)$$

Ширина державки квадратного сечения, когда $H = B$, мм,

$$B = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot P_z \cdot l}{\sigma_H}}. \quad (3.6)$$

Диаметр круглой державки d , мм,

$$B = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot P_z \cdot l}{\pi \cdot \sigma_H}}. \quad (3.7)$$

После расчета параметры сечения державки доводим до стандартных значений.

7 После конструкторского расчета необходимо провести проверочный расчет державки на жесткость.

$$f = \frac{P_z \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I}, \quad (3.8)$$

где E – модуль упругости материала державки резца, МПа; $E = (2,0 \div 2,2) \cdot 10^5$;

J – момент инерции сечения державки, мм⁴.

Для разных сечений момент инерции равен:

$$J_{\text{КРУГ}} = 0,05 d^4; \quad (3.9)$$

$$J_{\text{ПРЯМ}} = \frac{B \cdot H^3}{12}; \quad (3.10)$$

$$J_{\text{КВАД}} = \frac{H^4}{12}. \quad (3.11)$$

Допускаемая стрела прогиба резца для предварительного точения $f \approx 0,1$ мм, для полустогового точения $f = 0,05$ мм, для чистового точения $f = 0,02$ мм.

8 Назначаем технические требования на изготовление, контроль и эксплуатацию резца.

Задания для индивидуального выполнения

Спроектировать металлорежущий инструмент, необходимый для обработки детали из практического занятия № 1.

Пример решения задачи

Проектирование резца токарного упорного.

Выбор инструментального материала.

Исходя из того, что обрабатываемый материал – Сталь Р9Ф5, и рекомендаций [5, с. 19, таблица 19], принимаем твёрдый сплав Т15К6.

Материал державки резца.

При выборе материала державки резца руководствуемся [3, с. 69] и выбираем Сталь 45 ГОСТ 1050–88.

Геометрические параметры.

По [12] принимаем резец токарный проходной упорный ГОСТ 18870–73. Его параметры: $\alpha = 6^\circ$ [4, таблица 8.6]; $\gamma = 10^\circ$ [4, таблица 8.6]; $\varphi = 45^\circ$;

[4, таблица 8.13], $\varphi_1 = 15^\circ$ [4, таблица 8.13]; $r = 0,8$ [4, таблица 8.12].

При выборе геометрических параметров основываемся на [5] и [12].

Геометрические параметры резца влияют на силы резания и износ режущих кромок лезвия.

Главный угол в плане φ определяет соотношение между шириной и толщиной среза при постоянных значениях подачи и глубины резания. Выбираем угол $\varphi = 45^\circ$ [12, таблица 8.13].

Вспомогательный угол в плане φ_1 . Принимаем $\varphi_1 = 15^\circ$ [12, таблица 8.14].

Главный передний угол γ уменьшает деформацию стружки и обрабатываемой поверхности, влияет на величину и направление сил резания, прочность режущей кромки, стойкость резца и качество обработанной поверхности. Принимаем $\gamma = 10^\circ$ [12, таблица 8.12].

Главный задний угол α выбираем в зависимости от обрабатываемого материала. В данном случае при обработке Стали Р9Ф5 (HB280) принимаем угол $\alpha = 6^\circ$.

Радиус вершины резца. С увеличением радиуса скругления повышаются качество обработанной поверхности и стойкость резца. Исходя из сечения державки резца, принимаем $r = 0,8$ мм [5, таблица 3.8].

Режимы резания.

1 Глубина резания

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{70 - 68}{2} = 1 \text{ мм.} \quad (3.12)$$

2 Подача. Принимаем оптимальную величину подачи, рассчитанную в предыдущем разделе: $S_0 = 0,2$ мм/об.

3 Стойкость резца. Исходя из условия, $T = 30$ мин.

4 Скорость резания

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} \cdot K_v, \quad (3.13)$$

где C_v – постоянный коэффициент, зависящий от условий обработки;

m, x, y – показатели степеней;

K_v – общий поправочный коэффициент;

T – период стойкости инструмента.

$$\left. \begin{array}{l} C_v = 420, \\ x = 0,25, \\ y = 0,20, \\ m = 0,20, \\ T = 30; \end{array} \right\} \quad [2, \text{таблица 17}]$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}, \quad (3.14)$$

где K_{mv} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние физико-механических свойств обрабатываемого материала на скорость резания;

K_{nv} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние состояния поверхности заготовки;

K_{uv} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние инструментального материала на скорость резания.

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{HB} \right)^{mv} = \left(\frac{750}{2200} \right)^1 = 0,238; \quad (3.15)$$

$$K_{nv} = 1,0; \quad K_{uv} = 1,0; \quad K_v = 0,238;$$

$$v = \frac{420}{30^{0,2} \cdot 1^{0,25} \cdot 0,2^{0,2}} \cdot 0,238 = 70,12 \text{ м/мин.}$$

5 Частота вращения

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 70,12}{3,14 \cdot 70} = 318 \text{ мин}^{-1}. \quad (3.16)$$

Принимаем $n_d = 318 \text{ мин}^{-1}$.

$$v_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n_d}{1000} = \frac{3,14 \cdot 70 \cdot 318}{1000} = 70,12 \text{ м/мин.} \quad (3.17)$$

6 Сила резания

$$P_Z = 10 \cdot C_p \cdot t^X \cdot S^Y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (3.18)$$

где C_p – постоянный коэффициент, зависящий от условий обработки;

X, Y, n – показатели степеней;

K_p – общий поправочный коэффициент.

$$\left. \begin{array}{l} C_p = 300, \\ X = 1,0, \\ Y = 0,75, \\ n = -0,15. \end{array} \right\} [2, \text{таблица 17}]$$

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} = 2,241 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2,241, \quad (3.19)$$

где K_{mp} – коэффициент, учитывающей влияние материала заготовки;
 $K_{\varphi p}$ – коэффициент, учитывающий влияние значения главного угла в плане;
 $K_{\gamma p}$ – коэффициент, учитывающий влияние значения переднего угла;
 $K_{\lambda p}$ – коэффициент, учитывающий влияние значения угла наклона главного лезвия;
 K_{rp} – коэффициент, учитывающий влияние значения вершины резца.

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1^1 \cdot 0,2^{0,75} \cdot 70,12^{-0,15} \cdot 2,241 = 1061 \text{ Н.}$$

7 Мощность резания

$$N_{PEЗ} = \frac{P_z \cdot v_D}{60 \cdot 1020} = \frac{1061 \cdot 70,12}{60 \cdot 1020} = 1,22 \text{ кВт,} \quad (3.20)$$

$$N_{CT} > N_{PEЗ}.$$

Допускаемая длина режущей кромки.

Из рекомендаций [5]

$$l_a = t / \sin \varphi = 1 / \sin 45^\circ = 1,41 \text{ мм.} \quad (3.21)$$

Тогда

$$L = (1,5 - 3) \cdot l_a = 1,5 \cdot 1,41 = 2,115 \text{ мм,} \quad (3.22)$$

где l_a – активная длина режущей кромки;

L – вся длина режущей кромки.

Количество граней режущей пластины

$$n = \frac{360^\circ}{45^\circ + 15} = 6. \quad (3.23)$$

Расчёт державки резца.

По [13, с. 107] при выполнении чистовой обработки $H/B = 1,25$.

$$l \approx 1,5 \text{ Н;} \quad (3.24)$$

$$B = \sqrt[3]{\frac{n \cdot P_z \cdot l}{2,56 \cdot \sigma_u}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 1061,37 \cdot 50}{2,56 \cdot 200}} = 8,5 \text{ мм.} \quad (3.25)$$

Следовательно,

$$H = B \cdot 1,6 = 8,5 \cdot 1,6 = 13,6 \text{ мм} . \quad (3.26)$$

Из конструктивных соображений принимаем $B = 20 \text{ мм}$; $H = 25 \text{ мм}$.

Определяем стрелу прогиба:

$$f = \frac{l^3 \cdot P_z}{3 \cdot E \cdot \frac{B \cdot H^3}{12}} = \frac{50^3 \cdot 1061,37}{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 32552,08} = 0,0067 \text{ мм} < 0,1. \quad (3.27)$$

Следовательно, длина вылета резца выбрана верно.

Длина резца.

В соответствии с ГОСТ 18879–73 выбираем длину резца, равную 150 мм.

Контрольные вопросы

- 1 Для чего предназначен резец?
- 2 Какие бывают резцы?
- 3 Последовательность проектирования токарного резца.
- 4 Назначение державки резца.
- 5 Какие материалы используют для изготовления державки резца?

Список литературы

- 1 **Ящерицын, П. И.** Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: учебник для вузов / П. И. Ящерицын, М. Л. Еременко, Е. Э. Фельдштейн. – Минск: Вышэйшая школа, 1990. – 512 с.
- 2 Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.
- 3 **Макаров, А. Н.** Оптимизация процессов резания / А. Н. Макаров. – Москва: Машиностроение, 1986. – 278 с.
- 4 Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: справочник / В. И. Баранчиков [и др.]; под общ. ред. В. И. Баранчикова. – Москва: Машиностроение, 1990. – 400 с.
- 5 **Баранчиков, В. И.** Справочник конструктора-инструментальщика / В. И. Баранчиков. – Москва: Машиностроение, 1994. – 560 с.
- 6 **Спиридонов, А. А.** Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – Москва: Машиностроение, 1981. – 184 с.

- 7 **Кацев, П. Г.** Статистические методы исследования режущего инструмента / П. Г. Кацев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1974. – 231 с.
- 8 Справочник инструментальщика / Под ред. И. А. Орденарцева. – Ленинград: Машиностроение, 1987 – 846 с.
- 9 **Железнов, Г. С.** Процессы механической и физико-химической обработки материалов: учебник для вузов / Г. С. Железнов, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол : ТНТ, 2011. – 456 с.
- 10 **Фельдштейн, Е. Э.** Режущий инструмент: учебное пособие для вузов / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич, М. И. Михайлов. – Минск: Новое образование, 2007. – 400 с.
- 11 Режущий инструмент: учебник / Д. В. Кожевников [и др.] ; под ред. С. В. Кирсанова. – 3-е изд. – Москва: Машиностроение, 2007. – 528 с.
- 12 Справочник инструментальщика / И. А. Ординарцев [и др.]; под общ. ред. И. А. Ординарцева. – Ленинград : Машиностроение, 1987. – 846 с.
- 13 **Фельдштейн, Е. Э.** Металлорежущие инструменты: справочник конструктора / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2009. – 1039 с.
- 14 **Григорьев, С. Н.** Технология обработки концентрированными потоками энергии: учебник для вузов / С. Н. Григорьев, Е. В. Смоленцов, М. А. Волосова. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 280 с.
- 15 **Соколов, А. Г.** Методы инженерии поверхности, применяемые в машиностроении для повышения эксплуатационных свойств изделий : учебное пособие / А. Г. Соколов, В. В. Иосифов, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол : ТНТ, 2019. – 244 с.
- 16 Материаловедение в машиностроении: учебник для академ. бакалавриата в 2 ч. / А. М. Адаскин [и др.]. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2019. – Ч. 1. – 258 с.
- 17 Материаловедение в машиностроении: учебник для академ. бакалавриата в 2 ч. / А. М. Адаскин [и др.]. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2019. – Ч. 2. – 291 с.