

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Е. А. Карев, В. П. Табаков, Н. В. Ерёмин

**АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЁТА
РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ
ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК**

Ульяновск 2003

Министерство образования Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Ульяновский государственный технический университет

Е. А. Карев, В. П. Табаков, Н. В. Ерёмин

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЁТА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК

Учебное пособие

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств», направлению подготовки дипломированных специалистов – «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Ульяновск 2003

УДК 658.512.4.011.56:621.9.06-229+621.9.02(075.8)

ББК 34.638 я7

К22

Авторы: Е. А. Карев, В. П. Табаков, Н. В. Ерёмин

Рецензенты: Кафедра «Моделирование технических систем и процессов» Ульяновского государственного университета; канд. техн. наук, доцент В. И. Котельникова

Карев Е.А.

К22 Автоматизация расчёта режимов резания при механической обработке заготовок: Учебное пособие /Е. А. Карев, В. П. Табаков, Н. В. Ерёмин. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 103 с.

ISBN 5-89146-379-2

Разработано в соответствии с типовой и рабочей программами дисциплины «Теория резания» и предназначено для студентов специальности 120100 при выполнении практических занятий, курсовых и дипломных проектов.

В учебном пособии дана методика аналитического расчёта режима резания при одноинструментальной обработке заготовок с помощью ЭВМ, а также приведены особенности расчёта режимов резания при многоинструментальной обработке заготовок, представлены типовые примеры для наиболее часто встречающихся многоинструментальных наладок.

Работа подготовлена на кафедрах «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструменты».

УДК 658.512.4.011.56:621.9.06-229+621.9.02(075.8)

ББК 34.638 я7

© Е.А. Карев, В.П. Табаков, Н.В. Ерёмин, 2003

© Оформление. УлГТУ, 2003

ISBN 5-89146-379-2

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. РАСЧЁТ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ПРИ ОДНОИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК	6
1.1. Выбор марки инструментального материала, типа и геометрии инструмента	6
1.2. Последовательность выбора элементов режима резания	6
1.3. Назначение элементов режима резания	9
1.4. Расчёт экономической стойкости (периода стойкости) инструмента	.13
1.5. Пример определения технологически допускаемой подачи при точении заготовок на токарных станках	15
1.6. Методика назначения элементов режима резания	.20
2. РАСЧЁТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ МНОГОИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК	22
2.1. Общие положения расчёта режимов резания при многоинструментальной обработке	22
2.2. Примеры расчёта режимов резания при многоинструментальной обработке	27
2.2.1. Расчёт режимов резания при обработке заготовок на токарном многолезцовом одношпиндельном полуавтомате	27
2.2.2. Расчёт режимов резания при обработке заготовок на агрегатных станках	31
2.2.3. Расчёт режимов резания при обработке заготовок на вертикально-сверлильном станке с многошпиндельной сверлильной головкой	36
2.2.4. Расчёт режимов резания при обработке заготовок на токарном вертикальном полуавтомате	.40
3. РАСЧЁТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ	50
3.1. Общие положения. Требования к техническим средствам	50
3.2. Примеры расчёта режимов резания с помощью ЭВМ	51
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	76
АЛФАВИТНО-ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	77
ПРИЛОЖЕНИЯ	81
Приложение 1. Перечень формул для расчёта основного времени	81
Приложение 2. Порядок автоматизированного расчёта элементов режима резания нарезания резьбы на токарных станках	85
Приложение 3. Фрагмент примера автоматизации расчёта параметров режима резания при рассверливании отверстий	

в заготовках	91
Приложение 4. Фрагменты примера автоматизации расчёта параметров режима резания при зенкеровании отверстий	
в заготовках	94
Приложение 5. Фрагменты примера автоматизированного расчёта параметров режима резания при развёртывании отверстий в заготовках	96
Приложение 6. Фрагменты примера автоматизированного расчёта параметров режима резания при нарезании резьбы осевым инструментом	98
Приложение 7. Фрагменты автоматизации расчёта элементов режима резания зубчатых колёс	100
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	103

ВВЕДЕНИЕ

Для рациональной эксплуатации оборудования, инструментов, приспособлений, а также обработки заготовок деталей машин необходимо правильно выбрать режимы резания. Рациональному режиму резания соответствует такое сочетание элементов, при котором максимально используются режущие свойства инструмента и возможности оборудования и оснастки (в особенности при автоматизированном производстве), а обрабатываемая заготовка отвечает техническим требованиям к форме, размерам и качеству обрабатываемой поверхности. Расчёт режима резания является довольно трудоёмким этапом технологического проектирования изготовления деталей, поэтому для уменьшения трудоёмкости расчётов широко используется вычислительная техника. В настоящем учебном пособии расчёт производится на ЭВМ Pentium III, а программы написаны на языке FoxPro.

При автоматизированном расчёте элементов режима резания при одноинструментальной обработке учитывался характер обработки, тип и размеры инструмента, материал его режущей части, материал и состояние заготовки, тип и состояние станочного оборудования. Учитывая, что порядок назначения элементов режима резания для различных видов механической обработки одинаков, то в этом учебном пособии рассмотрены вопросы их назначения для наиболее распространённых видов обработки – точения, сверления, рассверливания, зенкерования, развертывания, фрезерования, зубофрезерования. Приведены также особенности расчёта режимов резания при многоинструментальной обработке и примеры расчёта для наиболее часто встречающихся многоинструментальных наладок. При табличном методе расчёта режима резания для многоинструментальной обработки в качестве основной литературы можно рекомендовать [1, 2, 3]. Для автоматизированного расчёта режимов резания при механической обработке заготовок на наиболее распространённых операциях в УлГТУ разработана многопрограммная система «ТО».

1. РАСЧЁТ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ПРИ ОДНОИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК

1.1. Выбор марки инструментального материала, типа и геометрии инструмента

Выбор данных параметров определяется физико-механическими свойствами инструментального и обрабатываемого материалов, требованиями к шероховатости обрабатываемой поверхности, жесткостью технологической системы, видом, характером и условиями обработки.

Выбор марки инструментального материала, а также типа инструмента и геометрии его режущей части производится по таблицам соответствующих справочников, например [1, 2, 3]. Необходимо отметить, что ввиду высокой производительности твёрдосплавного инструмента по сравнению с быстрорежущим, его целесообразно применять для всех видов работ, если нет технологических или каких-либо других ограничений по его применению.

1.2. Последовательность выбора элементов режима резания

Режимом резания называется совокупность глубины резания, подачи, периода стойкости инструмента и скорости резания.

Следовательно, назначение режима резания заключается в выборе указанных параметров (t , S , T , V).

Производительность операции при обработке заготовок зависит от основного технологического времени, то есть времени, затрачиваемого непосредственно на процесс резания (снятие стружки).

Чем меньше основное технологическое время, тем выше производительность обработки и наоборот.

Основное технологическое время подсчитывается по формуле:

$$T_o = \frac{L}{V_s} \cdot i = \frac{L}{S_o \cdot n} \cdot i, \quad (1.1)$$

где $L = \ell + y + \Delta$ – общая длина прохода инструмента в направлении подачи, мм;

ℓ – длина обработанной поверхности, мм;

y – величина врезания, мм;

Δ – выход режущего инструмента (перебег), мм;

i – число проходов инструмента: $i = \frac{h}{t}$;

h – припуск на обработку, мм;

t – глубина резания, мм;

V_s – скорость движения подачи, мм/мин;

S_o – подача на оборот инструмента, мм/об;

n – частота вращения заготовки, об/мин.

Частота вращения определяется по формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (1.2)$$

где V – скорость главного резания, м/мин;

D – диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, мм.

Заменив n в формуле основного технологического времени его значением из зависимости (1.2), получим

$$T_o = \frac{L \cdot \pi \cdot D \cdot h}{1000 \cdot V \cdot S_o \cdot t}. \quad (1.3)$$

При точении поверхностей определенных размеров отношение $\frac{L \cdot \pi \cdot D}{1000}$ является постоянной величиной, которую можно обозначить буквой C_1 , тогда

$$T_o = \frac{C_1 \cdot h}{V \cdot S_o \cdot t}. \quad (1.4)$$

Отсюда видно, что минимальное значение T_o , а следовательно, наибольшая производительность обработки будет при наименьшем припуске на обработку h и наибольшем произведении $V \cdot S_o \cdot t$, которое представляет собой объём металла, срезаемого режущим инструментом за одну минуту.

При решении вопроса о наибольшей производительности, при заданной стойкости инструмента, необходимо принимать меры для увеличения каждого из трёх сомножителей V , S , t . Однако одновременное увеличение всех трёх множителей возможно только с повышением режущих свойств инструмента, так как с увеличением глубины резания и подачи при заданной стойкости скорость резания уменьшается. Это видно из формулы для скорости резания, допускаемой режущими свойствами инструмента:

$$V_{\text{доп}} = \frac{C_v}{T^m \cdot S^{y_v} \cdot t^{x_v}}. \quad (1.5)$$

С целью установления последовательности выбора V , S , t и T определим влияние их на производительность обработки. Для этого необходимо выяснить, что выгоднее: увеличивать глубину резания за счёт уменьшения подачи или наоборот – работать с большим сечением срезаемого слоя и меньшей скоростью резания или увеличивать скорость резания за счёт уменьшения глубины резания и подачи.

Рассмотрим следующий пример [4]: допустим, нам необходимо обработать валик длиной ℓ , припуск на обработку h . В первую очередь выясним, что больше влияет на производительность: глубина резания или подача.

Обработку будем производить при двух режимах. Для первого режима припуск снимается за один проход и глубина резания $t_1=h=t$, а подача $S_{O1}=S_0$; для второго припуск снимается за два прохода и глубина резания $t_2=h/2=t/2$, а подача $S_{O2}=2 \cdot S_0$.

Производительность обработки, как мы уже отмечали, можно характеризовать основным технологическим временем, чем меньше оно, тем выше производительность обработки. Определим основное технологическое время для обоих режимов.

$$T_{O1} = \frac{L}{n_1 \cdot S_{O1}} = \frac{L}{n_1 \cdot S_0};$$

$$T_{O2} = \frac{L}{n_2 \cdot S_{O2}} = \frac{L}{n_2 \cdot S_0}.$$

Скорости резания при выбранном периоде стойкости для первого и второго режимов резания соответственно равны:

$$V_1 = \frac{C_v}{S_0^{y_v} \cdot t^{x_v}};$$

$$V_2 = \frac{C_v}{(2 \cdot S_0)^{y_v} \cdot \left(\frac{t}{2}\right)^{x_v}} = \frac{C_v}{S_0^{y_v} t^{x_v} 2^{y_v - x_v}} = \frac{V_1}{2^{y_v - x_v}}.$$

Отсюда видно, что частота вращения, согласно формуле (1.2), для первого режима будет больше, чем для второго, а основное технологическое время меньше.

Следовательно, с точки зрения производительности целесообразно работать с большей глубиной резания, нежели с большей подачей.

Выясним влияние на производительность обработки скорости резания и подачи. Производительность обработки можно выразить через количество заготовок N , обработанных за период стойкости T инструмента:

$$N = \frac{T}{T_0} = \frac{T \cdot 1000 \cdot V \cdot S_0}{L \cdot \pi \cdot D}. \quad (1.6)$$

Так как для конкретных условий обработки отношение $\frac{T \cdot 1000}{L \cdot \pi \cdot D}$ постоянно, то обозначая его через C , получим

$$N = C \cdot V \cdot S_0. \quad (1.7)$$

Для того чтобы выявить различное влияние скорости резания и подачи на производительность, поступим следующим образом. Выразим число об-

работанных за период стойкости деталей только через подачу. При $t = \text{const}$ имеем

$$N = C \cdot S_o \cdot \frac{C_v}{S_o^{y_v} \cdot t^{x_v}} = C \cdot C' \cdot S_o^{1-y_v}; \quad (1.8)$$

где $C' = \frac{C_v}{t^{x_v}}$.

Из выражения (1.8) следует, что с увеличением подачи число обработанных деталей возрастает.

Выразим число обработанных деталей за период стойкости только через скорость резания. Определив S_o через V из выражения (1.5) и подставив ее значение в формулу (1.7), получим

$$N = C \cdot V \cdot \frac{(C')^{1/y_v}}{(V)^{1/y_v}} = \frac{C \cdot (C')^{1/y_v}}{(V)^{1/y_v-1}}. \quad (1.9)$$

Из выражения (1.9) следует, что с увеличением скорости резания число заготовок не возрастает, а уменьшается. Таким образом, выгоднее увеличивать подачу, чем скорость резания.

Отсюда последовательность назначения элементов режима резания следующая: в первую очередь задаются максимальной и целесообразной глубиной резания, затем – максимально допустимой подачей и по выбранным глубине резания и подаче, задавшись определённой величиной периода стойкости, определяют допускаемую режущими свойствами инструмента скорость резания.

1.3. Назначение элементов режима резания

Глубина резания. При токарной черновой (предварительной) обработке и отсутствии ограничений по мощности оборудования, жёсткости технологической системы глубину резания принимают равной припуску на обработку. При чистовой (окончательной) обработке припуск снимается за два и более проходов. При параметре шероховатости обработанной поверхности $Ra = 3,2-6,3$ мкм ($Rz = 12,5-40$ мкм) окончательный проход рекомендуется выполнять с глубиной резания в пределах 0,5-2,0 мм, при $Ra=2,5-0,63$ мкм – с глубиной 0,1-0,4 мм. При строгании и долблении глубина резания назначается из тех же соображений, что и при токарной обработке.

При фрезеровании заданный припуск снимается за один проход как при предварительной, так и окончательной обработке и только лишь при высоких требованиях к точности и шероховатости обработанной поверхности припуск снимается за два прохода.

При нарезании резьбы резцами глубина резания определяется величиной поперечной подачи и равна высоте резьбового профиля при формиро-

вании резьбы за один проход или части высоты профиля, соответствующей числу проходов i , необходимых для образования резьбы. Если шаг резьбы $S \leq 2,5$ мм, поперечная подача имеет радиальное направление и формирование профиля резьбы происходит по профильной схеме. Если шаг резьбы $S > 2,5$ мм, черновые проходы выполняют по генераторной схеме с поперечной подачей, параллельной боковой стороне профиля резьбы, а оставшийся припуск на чистовые проходы снимается по профильной схеме.

При зубонарезании черновую обработку производят за один проход. Когда мощность оборудования или жёсткость технологической системы недостаточны, припуск на черновую обработку снимают за два прохода с глубиной резания при первом проходе равной $1,4m$ и при втором $0,7m$, где m – модуль нарезаемого колеса. При чистовом зубофрезеровании глубина резания выбирается по соответствующим нормативам.

Подача. При токарной черновой (предварительной) обработке подача на оборот S_0 принимается максимально допустимой по мощности оборудования, жёсткости технологической системы, прочности державки и режущей пластины. Поэтому выбранную по таблицам соответствующих нормативов подачу при предварительной (черновой) обработке следует проверить по прочности державки резца и режущей пластины, жёсткости державки резца и обрабатываемой заготовки и прочности механизма станка [1,2,3]. Методика расчёта подач, ограничивающих процесс резания при токарной обработке, приведена ниже. Подача при чистовом точении выбирается исходя из требуемых параметров шероховатости обработанной поверхности и радиуса при вершине инструмента.

При строгании подачу на двойной ход S мм/дв.ход выбирают по аналогии с токарной обработкой исходя из заданной глубины резания, сечения державки резца, прочности режущей пластины и требуемых параметров шероховатости обработанной поверхности.

При сверлении отверстий без ограничивающих факторов подача на оборот S_0 выбирается максимально допустимой по прочности сверла. Факторы, ограничивающие подачу (глубина отверстия, качество обработанной поверхности отверстия, недостаточная жёсткость технологической системы), учитываются поправочными коэффициентами. При рассверливании отверстий подача на оборот, рекомендованная для сверления, может быть увеличена в два раза. При зенкерование и развертывании подачи на оборот, при прочих одинаковых условиях, могут принимать большие значения, чем при сверлении и рассверливании. Это связано с тем, что при лучших условиях резания (отсутствие поперечной кромки, более равномерные углы вдоль режущей кромки, меньшая глубина резания), зенкер и развертка имеют и большее количество режущих кромок и при одной и той же подаче на одну кромку общая подача на оборот для них будет больше.

Исходной величиной подачи при предварительном (черновом) фрезеровании является величина её на один зуб S_z , при окончательном (чистовом) фрезеровании – на один оборот S_o , по которой для дальнейшего расчёта режима резания определяется подача на зуб $S_z = S_o/z$.

При зубонарезании исходной подачей для расчёта режима резания является подача на оборот, которая выбирается с учётом модуля нарезаемого зубчатого колеса, обрабатываемого материала, вида обработки.

Выбранную величину подачи необходимо скорректировать по паспортным данным станка, выбрав ближайшее меньшее или большее значение (большее значение должно быть не больше, чем на 10%) для дальнейшего расчёта режима резания (при фрезеровании по паспортным данным станка корректируется рассчитанная, после определения частоты вращения, минутная подача $S_{мин} = S_o \cdot z \cdot n$).

Скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента. По известным значениям глубины резания и подачи и выбранному периоду стойкости режущего инструмента определяется допускаемая скорость резания. Например, при токарной обработке по формуле [1]:

$$V_{доп} = \frac{C_v}{T^m \cdot S^{y_v} \cdot t^{x_v}} \cdot K_v. \quad (1.10)$$

Затем вычисляется частота вращения заготовки или инструмента, соответствующая данной скорости резания:

$$n = \frac{1000 \cdot V_{доп}}{\pi \cdot D},$$

где D – диаметр обрабатываемой поверхности или инструмента.

Полученную частоту вращения необходимо скорректировать по паспортным данным станка, выбрав ближайшее меньшее или большее значение $n_{ст}$ (большее значение не должно превышать 10%), и определить фактическую скорость резания

$$V_{фак} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{ст}}{1000}. \quad (1.11)$$

Сила резания и крутящий момент. Данные параметры определяются по эмпирическим зависимостям с учётом полученных фактических значений подач и скорости резания. Например, при токарной обработке сила резания определяется по формуле:

$$P_z = C_{Pz} \cdot t^{x_{Pz}} \cdot S^{y_{Pz}} \cdot V^{n_{Pz}} \cdot K_{Pz}. \quad (1.12)$$

Силы резания и крутящий момент при сверлении, зенкерования, развёртывании, нарезании резьбы и фрезеровании можно определить исходя из эмпирических зависимостей для токарной обработки. Данные зависимости более полно учитывают условия обработки и обеспечивают получение более точных значений сил резания и крутящих моментов.

При сверлении:

$$P_O = 2,5 \cdot [2^{1-X_{Pz}-Y_{Pz}} \cdot C_{Pz} \cdot D^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}} \cdot (\sin \varphi)^{1+Y_{Pz}-X_{Pz}}] \cdot K_{Pz}; \quad (1.13)$$

$$M = 1,25 \cdot 2^{-1-X_{Pz}-Y_{Pz}} \cdot C_{Pz} \cdot D^{1+X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}} \cdot (\sin \varphi)^{Y_{Pz}-X_{Pz}} \cdot K_{Pz}, \quad (1.14)$$

где φ – главный угол в плане.

При зенкерованиях и развертываниях:

$$P_O = \frac{C_{Pz}}{2^{X_{Pz}}} \cdot (D-d)^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}} \cdot (\sin \varphi)^{1+Y_{Pz}-X_{Pz}} \cdot Z^{1-Y_{Pz}} \cdot K_{Pz}; \quad (1.15)$$

$$M = C_{Pz} \cdot \left(\frac{D-d}{2}\right)^{X_{Pz}} \cdot \left(\frac{D+d}{4}\right) \cdot S^{Y_{Pz}} \cdot (\sin \varphi)^{Y_{Pz}-X_{Pz}} \cdot Z^{1-Y_{Pz}} \cdot K_{Pz}. \quad (1.16)$$

При нарезании резьбы резцами:

$$P_Z = 2^{X_{Pz}-Y_{Pz}} \cdot C_{Pz} \cdot S^{X_{Pz}+Y_{Pz}} \cdot \left(\frac{\cos 30^\circ}{i}\right)^{Y_{Pz}} \cdot K_{Pz} \quad (1.17)$$

для профильной схемы резания;

$$P_Z = C_{Pz} \cdot S^{X_{Pz}+Y_{Pz}} \cdot \left(\frac{\cos 30^\circ}{i}\right)^{Y_{Pz}} \quad (1.18)$$

для генераторной схемы резания.

При нарезании резьбы метчиками:

$$P_Z = C_{Pz} \cdot \frac{S^{X_{Pz}+Y_{Pz}-1}}{(X_{Pz}+1)} \cdot (\sin \varphi)^{Y_{Pz}} \cdot \ell_3 \cdot Z^{1-Y_{Pz}} \cdot K_{Pz} \quad (1.19)$$

в случае, когда $\ell_3 < \ell$,

где ℓ_3 – длина заборной части метчика;

ℓ – длина отверстия;

φ – угол заборного конуса;

Z – количество перьев метчика.

$$P_Z = \frac{C_{Pz}}{X_{Pz}+1} \cdot S^{X_{Pz}+Y_{Pz}-1} \cdot (\sin \varphi)^{Y_{Pz}} \cdot \left[1 - \left(\frac{\ell_3 - \ell}{\ell_3}\right)^{Y_{Pz}+1}\right] \cdot \ell \cdot Z^{1-Y_{Pz}} \cdot K_{Pz} \quad (1.20)$$

в случае, когда $\ell_3 > \ell$.

При цилиндрическом фрезеровании:

$$P_Z = \frac{2 \cdot C_{Pz}}{\pi(0,5 \cdot Y_{Pz} + 1)} \cdot B^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}} \cdot \left(\frac{t}{D}\right)^{0,5(Y_{Pz}+1)} \cdot Z \cdot K_{Pz}. \quad (1.21)$$

При торцовом фрезеровании:

$$P_Z = \frac{C_{Pz} \cdot B \cdot Z}{\pi \cdot D} \cdot t^{X_{Pz}} \cdot S_Z^{Y_{Pz}} \cdot (\sin \varphi)^{Y_{Pz}-X_{Pz}} \cdot (\sin \psi_{CP})^{Y_{Pz}} \cdot K_{Pz}, \quad (1.22)$$

где $(\sin \psi_{CP})^{Y_{Pz}} \approx 0,9$;

B – ширина фрезерования;

D – диаметр фрезы.

Показатели степени и коэффициенты в приведённых зависимостях выбираются из соответствующих таблиц нормативов для токарной обработки.

Мощность, затрачиваемая на процесс резания. Мощность, необходимую для процесса резания определяют по формуле

$$N_{\text{РЕЗ}} = \frac{P_Z \cdot V}{60 \cdot 1020}. \quad (1.23)$$

Расчётная мощность электродвигателя, которая обеспечивает возможность осуществления на выбранном станке процесса резания, определяется с учётом КПД станка η

$$N_{\text{Э}} = \frac{N_{\text{РЕЗ}}}{\eta}. \quad (1.24)$$

Для того, чтобы на выбранном станке возможно было осуществлять процесс резания, необходимо, чтобы мощность электродвигателя данного станка $N_{\text{СТ}}$ была больше (или, в крайнем случае равна) расчётной мощности, т.е. $N_{\text{СТ}} > N_{\text{Э}}$. (1.25)

Если данное условие не выполняется, то целесообразно уменьшить не подачу, а частоту вращения шпинделя станка, выбрав ближайшую меньшую по паспорту станка. Затем пересчитать значения V , P_Z , $N_{\text{РЕЗ}}$ и $N_{\text{Э}}$ и проверить условие (1.25). Если уменьшение частоты вращения приведет к существенной потере производительности, целесообразно обработку провести за два и более прохода, разделив соответственно глубину резания, или, в крайнем случае, выбрать другой станок.

Основное технологическое время. Расчёт режима резания заканчивается определением основного технологического времени по формуле:

$$T_0 = L / V_s, \quad (1.24)$$

где $L = \ell + u + \Delta$ - путь резания, мм;

ℓ – длина обработанной поверхности, мм;

u – величина врезания инструмента, мм;

Δ – величина перебега инструмента, мм;

$V_s = S_o \cdot n$ – скорость движения подачи (минутная подача), мм/мин.

Формулы для расчёта основного технологического времени при различных видах обработки приведены в приложении 1.

1.4. Расчёт экономической стойкости (периода стойкости) инструмента

Величина экономической стойкости, обеспечивающая наименьшую себестоимость обработки детали, может быть определена по формуле:

$$T_{\text{Эк.}} = \left(\frac{1}{m} - 1 \right) \cdot \left(t_{\text{с.м.}} + \frac{\text{Э}_i}{E} \right), \quad (1.25)$$

где m – показатель относительной стойкости инструмента, зависящий от инструментального и обрабатываемого материалов;

$t_{\text{с.м.}}$ – время смены и подналадки инструмента между переточками, мин;

Э_i – затраты, связанные с изготовлением и эксплуатацией режущего инструмента за период его стойкости, руб/мин;

E – полная себестоимость одной минуты работы станка, руб/мин.

Затраты на режущий инструмент можно подсчитать по формуле:

$$\text{Э}_i = \frac{[(C_{\text{ин.}} - C_{\text{отх.}}) + C_{\text{пер.}} \cdot n_{\text{пер.}}] \cdot K_{\text{уб.}}}{n_{\text{пер.}} + 1}, \quad (1.26)$$

где $C_{\text{ин.}}$ – первоначальная стоимость инструмента, руб.;

$C_{\text{отх.}}$ – выручка от реализации изношенного инструмента, руб.;

$C_{\text{пер.}}$ – затраты на одну переточку, руб.

$$C_{\text{пер.}} = \frac{C_{\text{ч.т.з.}}}{60} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot t_{\text{пер.}}, \quad (1.27)$$

где $C_{\text{ч.т.з.}}$ – часовая тарифная ставка среднего разряда работы заточника, руб.;

K_1 – коэффициент, учитывающий приработок заточников, $K_1=1,1$;

K_2 – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату заточников и начисление в фонд соцстраха, $K_2=1,28$;

K_3 – коэффициент, учитывающий цеховые расходы при переточке инструмента, $K_3=2,4 - 2,5$;

$t_{\text{пер.}}$ – время переточки инструмента, мин;

$n_{\text{пер.}}$ – количество переточек режущего инструмента;

$K_{\text{уб.}}$ – коэффициент случайной убыли инструмента, $K_{\text{уб.}}=1,15$.

Полная себестоимость одной минуты работы станка определяется по формуле:

$$E = C_{\text{т.}} + C_{\text{н.ц.}} + C_{\text{н.з.}}, \quad (1.28)$$

где $C_{\text{т.}}$ – технологическая себестоимость 1 мин работы станка без учёта затрат по заработной плате станочника и на режущий инструмент, руб/мин;

$C_{\text{н.ц.}}$ – величина прочих заводских расходов, приходящихся на 1 минуту работы станка, руб/мин;

$C_{\text{н.з.}}$ – величина общезаводских расходов, приходящихся на 1 минуту работы станка, руб/мин.

Величина $C_{\text{т.}}$ представляет собой сумму затрат на амортизацию $C_{\text{а.}}$, ремонт станка $C_{\text{р.}}$, электроэнергию $C_{\text{э.}}$, вспомогательные материалы $C_{\text{в.}}$, универсальные приспособления $C_{\text{п.}}$, мерительные инструменты $C_{\text{и.м.}}$, по использованию помещения $C_{\text{к.}}$, приходящихся на 1 минуту работы станка, т.е.

$$C_{\text{т.}} = C_{\text{а.}} + C_{\text{р.}} + C_{\text{э.}} + C_{\text{в.}} + C_{\text{п.}} + C_{\text{и.м.}} + C_{\text{к.}} \quad (1.29)$$

Величину прочих и общезаводских расходов можно определить по формулам:

$$C_{\text{н.ц.}} = \frac{C_{\text{ч.т.с.}}}{60} \cdot K_{\text{н.ц.}}, \quad (1.30)$$

где $C_{\text{ч.т.с.}}$ – часовая тарифная ставка станочника, руб/мин;
 $K_{\text{н.ц.}}$ – коэффициент прочих цеховых расходов, $K_{\text{н.ц.}}=0,3-0,5$.

$$C_{\text{н.з.}} = \frac{C_{\text{ч.т.с.}}}{60} \cdot K_{\text{н.з.}}, \quad (1.31)$$

где $K_{\text{н.з.}}$ – коэффициент общезаводских накладных расходов, равный 0,6-0,8.

Величины, входящие в формулы для расчётов Δ_i и E берутся по рекомендациям [6].

1.5. Пример определения технологически допускаемой подачи при точении заготовок на токарных станках

При точении максимально допускаемая подача ограничивается [7]:

- прочностью державки резца;
- жёсткостью державки резца;
- прочностью твердосплавной пластины;
- прочностью механизма подачи станка;
- жесткостью обрабатываемой заготовки;
- требуемой шероховатостью поверхности детали;
- экономической стойкостью (режущей способностью) инструмента;
- кинематическими возможностями станка;
- организационными факторами.

Наименьшая из рассчитанных и будет являться наибольшей технологически допускаемой подачей.

Подача, допускаемая прочностью державки резца – $S_{\text{п.р.}}$ В данном случае резец рассматривается как балка, защемлённая одним концом (рис.1.1).

На втором конце действует сила P , изгибающая резец с моментом.

$$M_{\text{изг.}} = P_Z \cdot \ell,$$

где P_Z – тангенциальная составляющая силы резания, Н;

ℓ – вылет резца, мм.

С другой стороны, максимальный изгибающий момент, допускаемый прочностью державки резца, равен

$$[M_{\text{изг.}}] = \sigma_{\text{и}} \cdot W,$$

где $\sigma_{\text{и}}$ – допускаемое напряжение на изгиб, МПа;

W – момент сопротивления сечения державки резца, мм³.

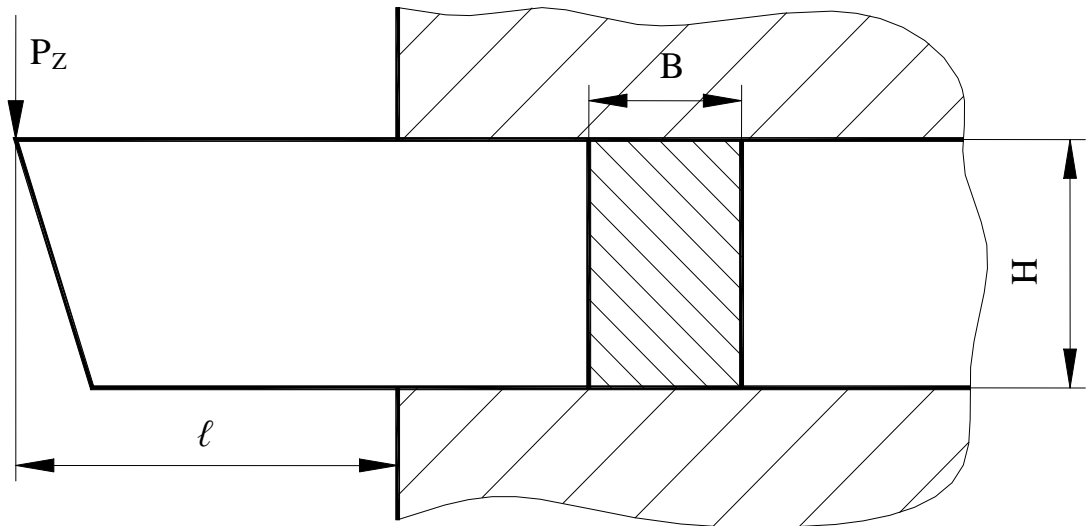


Рис. 1.1. Расчётная схема для определения подачи $S_{п.р.}$

Для державки прямоугольного сечения

$$W = \frac{B \cdot H^2}{6}.$$

Приравнявая действующий на резец изгибающий момент допускаемому, получим

$$P_Z \cdot \ell = \frac{B \cdot H^2}{6}$$

или

$$10 \cdot C_{P_Z} \cdot t^{x_{P_Z}} \cdot S^{y_{P_Z}} \cdot V^{n_{P_Z}} \cdot K_{P_Z} \cdot \ell = \frac{B \cdot H^2}{6} \cdot \sigma_{и},$$

откуда

$$S_{п.р.} = \left(\frac{B \cdot H^2 \cdot \sigma_{и}}{60 \cdot C_{P_Z} \cdot t^{x_{P_Z}} \cdot V^{n_{P_Z}} \cdot K_{P_Z} \cdot \ell} \right)^{1/y_{P_Z}}. \quad (1.32)$$

Коэффициент C_{P_Z} , показатели степени x_{P_Z} , y_{P_Z} , n_{P_Z} и коэффициент K_{P_Z} на измененные условия резания берутся из таблиц, например [1,2].

Значение скорости резания V при расчёте допускаемой подачи выбирается ориентировочно, например, при обработке конструкционной и легированной стали для чернового прохода $V \approx 70$ м/мин, для чистового $V \approx 100-120$ м/мин.

Подача, допускаемая жёсткостью державки резца – $S_{ж.р.}$ Под действием силы P_Z резец прогибается на величину f (рис.1.2), которая может быть определена по формуле

$$f = \frac{P_Z \cdot \ell^3}{3 \cdot E \cdot J}, \quad (1.33)$$

где E – модуль упругости материала державки резца, МПа;

J – момент инерции сечения державки резца в опасном сечении, мм^4 .

(Для державки прямоугольного сечения $J = \frac{B \cdot H^3}{12}$).

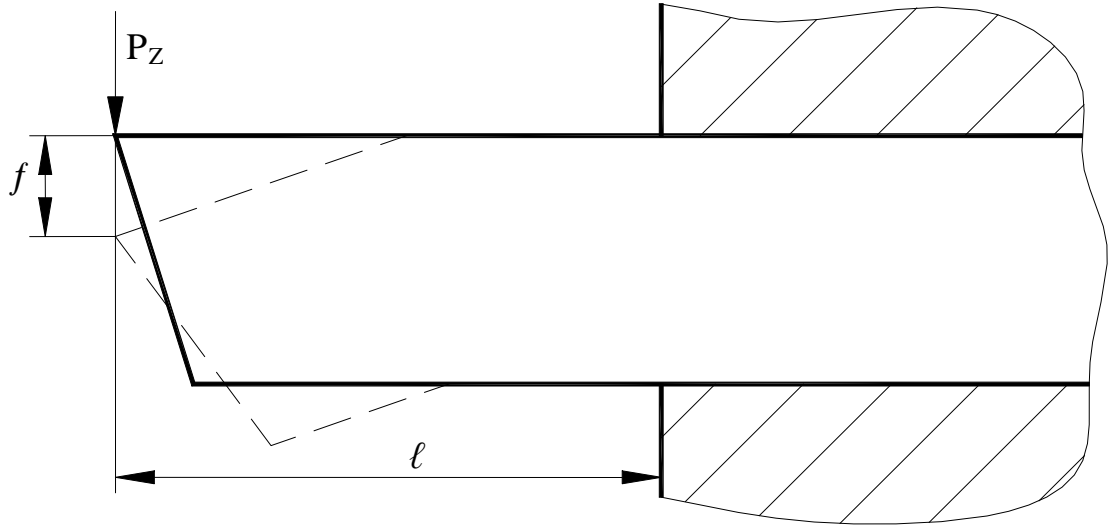


Рис. 1.2. Расчётная схема для определения подачи $S_{ж.р.}$.

Допускаемая стрела прогиба резца: при черновом точении $f = 0,1$ мм, при чистовом – $f = 0,05$ мм [5].

Подставляя в выражение (1.33) значение силы P_Z , получим

$$f = \frac{40 \cdot C_{Pz} \cdot t^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}} \cdot V^{N_{Pz}} \cdot K_{Pz} \cdot \ell^3}{E \cdot B \cdot H^3},$$

откуда

$$S_{ж.р.} = \left(\frac{f \cdot E \cdot B \cdot H^3}{40 \cdot C_{Pz} \cdot t^{X_{Pz}} \cdot V^{N_{Pz}} \cdot K_{Pz} \cdot \ell^3} \right)^{1/Y_{Pz}}. \quad (1.34)$$

Подача, допускаемая прочностью твердосплавной пластины – $S_{п.п.}$. Максимальная нагрузка, допускаемая прочностью твердосплавной пластинки определяется по формуле:

$$P_Z'' = 340 \cdot t^{0,77} \cdot C^{1,35} \cdot \left(\frac{\sin 60^\circ}{\sin \varphi} \right)^{0,8},$$

где C – толщина пластинки, мм;

φ – главный угол в плане, град.

Приравнивая данную силу к силе, действующей на резец P_Z , имеем

$$10 \cdot C_{Pz} \cdot t^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}} \cdot V^{N_{Pz}} \cdot K_{Pz} = 340 \cdot t^{0,77} \cdot C^{1,35} \cdot \left(\frac{\sin 60^\circ}{\sin \varphi} \right)^{0,8},$$

откуда

$$S_{п.п.} = \left(\frac{340 \cdot C^{1,35} \cdot \left(\frac{\sin 60^\circ}{\sin \varphi} \right)^{0,8}}{10 \cdot C_{Pz} \cdot t^{X_{Pz}-0,77} \cdot V^{N_{Pz}} \cdot K_{Pz}} \right)^{1/Y_{Pz}}. \quad (1.35)$$

Подача, допускаемая прочностью механизма подачи станка – $S_{м.п.}$. Механизм подачи станка должен преодолевать силу подачи P_x и силу трения суппорта о направляющие:

$$Q = P_x + \mu(P_z + P_y),$$

где μ – коэффициент трения ($\mu = 0,1$)

В частном случае, при $\varphi = 45^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\gamma = 15^\circ$, можно принять

$$P_x = (0,25-0,3) \cdot P_z, \quad P_y = (0,4-0,5) \cdot P_z.$$

Тогда

$$Q = 0,25 \cdot P_z + 0,1 \cdot (P_z + 0,4 \cdot P_y) \approx 0,4 \cdot P_z$$

или в общем виде $Q = k \cdot P_z$,

где k – коэффициент, зависящий от соотношения сил P_z , P_x , P_y и от коэффициента трения ($k \approx 0,4$).

Наибольшее усилие, допускаемое прочностью механизма подачи станка $[P_{м.п.}]$, должно быть больше или в крайнем случае равно силе Q , т.е. $[P_{м.п.}] \geq Q$ или

$$[P_{м.п.}] = k \cdot P_z = 10 \cdot k \cdot C_{Pz} \cdot t^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}} \cdot V^{N_{Pz}} \cdot K_{Pz},$$

откуда

$$S_{м.п.} = \left(\frac{[P_{м.п.}]}{10 \cdot k \cdot C_{Pz} \cdot t^{X_{Pz}} \cdot V^{N_{Pz}} \cdot K_{Pz}} \right)^{1/Y_{Pz}}. \quad (1.36)$$

Значение силы $[P_{м.п.}]$ приводится в паспорте станка.

Подача, допускаемая жёсткостью заготовки – $S_{ж.з.}$. Под действием суммарной силы R_I (рис.1.3) заготовка изгибается, в результате чего искажается форма обработанной поверхности. Величина прогиба заготовки зависит от величины силы резания, длины и диаметра заготовки, материала заготовки и метода закрепления.

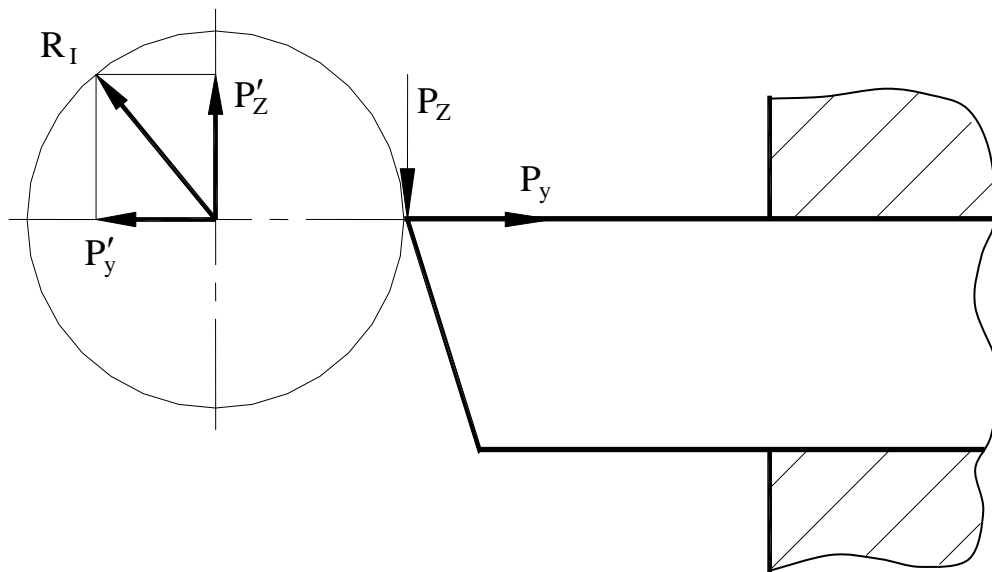


Рис. 1.3. Расчётная схема для определения подачи – $S_{ж.з.}$

$$f = \frac{R_I \cdot L^3}{\alpha \cdot E \cdot J},$$

где $R_I = \sqrt{P_Z^2 + P_Y^2} \approx 1,1 \cdot P_Z$.

Тогда

$$f = \frac{1,1 \cdot 10 \cdot C_{Pz} \cdot t^{X_{Pz}} \cdot S^{Y_{Pz}} \cdot V^{n_{Pz}} \cdot K_{Pz} \cdot L^3}{\alpha \cdot E \cdot J},$$

откуда

$$S_{ж.з.} = \left(\frac{f \cdot \alpha \cdot E \cdot J}{11 \cdot C_{Pz} \cdot t^{X_{Pz}} \cdot V^{n_{Pz}} \cdot K_{Pz} \cdot L^3} \right)^{1/Y_{Pz}}, \quad (1.37)$$

где L – длина между точками опоры заготовки или вылет заготовки из патрона, мм (см. рис.1.4);

E – модуль упругости обрабатываемого материала, МПа;

J – момент инерции сечения заготовки, $J=0,05 \cdot D^4$, мм⁴ (D – диаметр заготовки),

f – допускаемая стрела прогиба заготовки: при черновом точении $f=0,2-0,4$ мм, при точении под шлифование $f = 0,1$ мм, при точных чистовых работах $f = 0,2 \cdot \delta$ (δ – допуск на размер обработанной поверхности) [5];

α – коэффициент, зависящий от метода закрепления заготовки [5]:

$\alpha = 2,4$ – при консольном закреплении; $\alpha = 140$ – при закреплении в патроне и поджатии задним центром; $\alpha = 100$ – при закреплении в центрах.

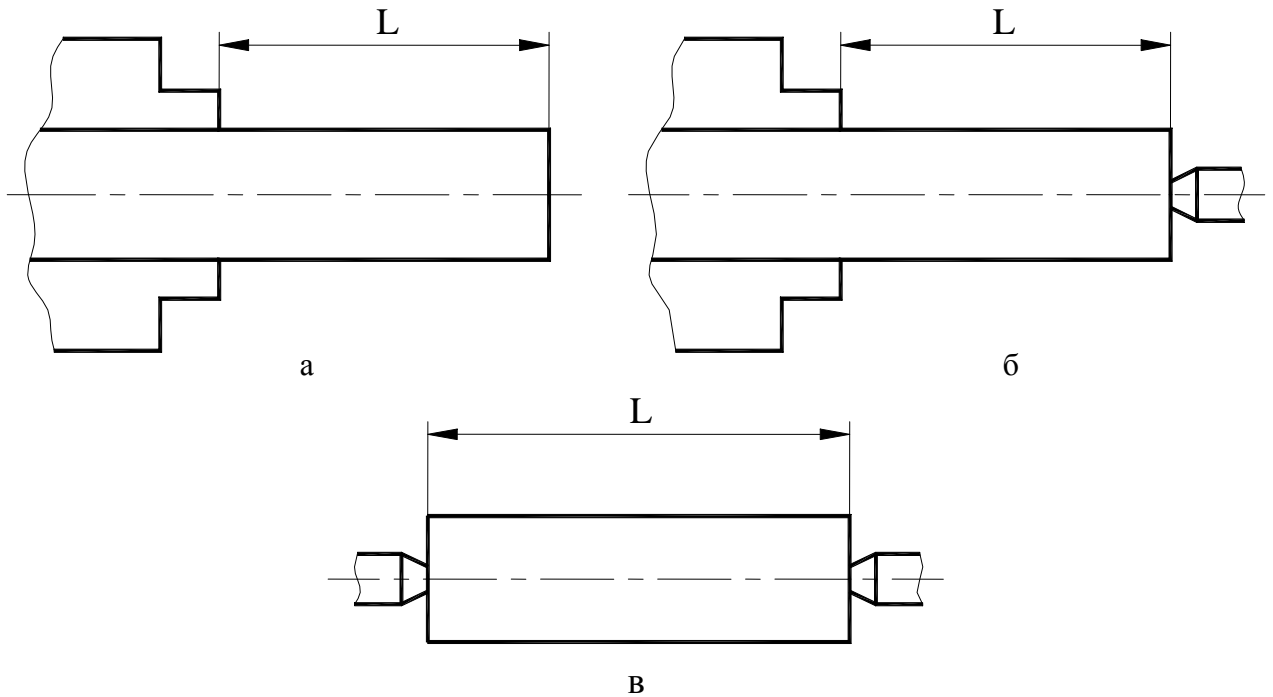


Рис.1.4. Схема закрепления заготовки: а) консольная; б) в патроне с поджатием задним центром; в) в центрах

Подача, допускаемая шероховатостью поверхности. При токарной обработке существует понятие подачи экстремальной шероховатости.

Исходя из условий, что подача $S_{п.р.}$ на токарной операции не должна превышать предельную, получим условие выбора её [7]:

$$S_{п.р.} \leq \frac{C_H \cdot R_Z^y \cdot r^n}{t^v \cdot \varphi^z \cdot \varphi_1^z}, \quad (1.38)$$

где C_H – коэффициент, характеризующий нормативные условия обработки;

R_Z^y – радиус при вершине резца;

φ, φ_1 – соответственно главный и вспомогательный углы в плане.

Подача, допускаемая кинематическими ограничениями. Кинематические ограничения обусловлены возможностями станка. Они записываются:

$$\begin{cases} n_{\min} \leq n \leq n_{\max}; \\ S_{\min} \leq S \leq S_{\max}. \end{cases} \quad (1.39)$$

Подача, допускаемая организационными ограничениями. Продолжительность цикла работы станка подсчитывается по формуле [7]:

$$T_{ц} = \frac{60 \cdot K_3 \cdot r_D}{\Pi} = T_0 + T_{в.н.}, \quad (1.40)$$

где K_3 – коэффициент загрузки станка;

r_D – число одновременно обрабатываемых заготовок;

Π – заданная производительность;

T_0 – основное технологическое время;

$T_{в.н.}$ – вспомогательное неперекрываемое время.

Так как $T_0 = \ell_{р.п.}/n \cdot S_{п.р.}$, то ограничение по производительности запишется, как

$$n \cdot S_{п.р.} \geq \frac{\Pi \cdot \ell_{р.п.}}{60 \cdot K_3 \cdot r_D - T_{в.н.} \cdot \Pi}. \quad (1.41)$$

1.6. Методика назначения элементов режима резания

1. Выбрать станок и способ закрепления заготовки. Дать эскиз закрепления заготовки.

2. Выбрать конструкцию инструмента, материал режущей части инструмента, форму передней поверхности и геометрические параметры режущей части. Дать эскиз инструмента.

3. В зависимости от характера обработки установить глубину резания t , мм.

4. Определить наибольшую технологически допускаемую подачу. Для этого подсчитываются величины подач по всем ограничивающим факторам

согласно подразделу 1.5. Из всех найденных подач необходимо выбрать наименьшую – это и будет наибольшей технологически допускаемой подачей. Далее полученную величину подачи необходимо скорректировать по паспорту станка, выбрав ближайшее меньшее или большее значение (но не более чем на 10%) в качестве фактической подачи $S_{СТ}$.

Если при точении обработка заготовки производится в два прохода, черновой и чистовой, подача выбирается следующим образом. Для чернового прохода по таблицам нормативов [1,2] выбирается соответствующее значение подачи $S_{Н.ЧЕРН.}$, затем рассчитываются подачи по лимитирующим факторам по формулам (1.32, 1.33, 1.34, 1.35, 1.36, 1.37). Наименьшее значение из полученных величин подач ($S_{Н.ЧЕРН.}$, $S_{П.Р.}$, $S_{П.П.}$, $S_{Ж.З.}$, $S_{М.П.}$) необходимо скорректировать по паспорту станка и принять в качестве фактической подачи для чернового прохода $S_{СТ.ЧЕРН.}$, мм/об.

Для чистового прохода основным лимитирующим фактором, ограничивающим величину подачи, является шероховатость поверхности и иногда жёсткость заготовки (в случае закрепления заготовки только в патроне при большом её вылете или при других нежёстких условиях резания) и жёсткость резца. В этом случае по таблицам нормативов выбирается подача, соответствующая необходимой шероховатости поверхности $S_{Н.ЧИСТ.}$ и подсчитываются подачи, допускаемые жёсткостью заготовки и державки резца по формулам (1.33, 1.36).

В качестве подачи для чистовой обработки выбирается наименьшее значение из полученных величин подач ($S_{Н.ЧИСТ.}$, $S_{Ж.Р.}$, $S_{Ж.З.}$), которое корректируется по паспорту станка и принимается в качестве фактической подачи $S_{СТ.ЧИСТ.}$ мм/об.

5. Рассчитать экономическую стойкость резания по формуле (1.25) или выбрать по [1,2].

6. Определить скорость резания, допускаемую режущими свойствами инструмента, по формуле:

$$V_{ДОП.} = \frac{C_V}{T_{ЭК}^m \cdot S_{СТ}^{y_V} \cdot t^{x_V}} \cdot K_V.$$

Коэффициенты C_V , K_V и показатели степеней m , y_V , x_V , q_V берутся из [1,2].

7. Определить соответствующую данной скорости частоту вращения заготовки по формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot V_{ДОП.}}{\pi \cdot D}.$$

Полученную частоту вращения скорректировать по паспорту станка, выбрав ближайшее большее или меньшее значение (но не более 10%), приняв его за фактическую частоту $n_{СТ}$.

8. Определить фактическую скорость резания по формуле:

$$V_{\text{ФАК.}} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\text{СТ}}}{1000}$$

9. Определить главную составляющую силы резания

$$P_Z = 10 \cdot C_{P_Z} \cdot t^{X_{P_Z}} \cdot S_{\text{СТ}}^{Y_{P_Z}} \cdot V_{\text{ФАК.}}^{n_{P_Z}} \cdot K_{P_Z}.$$

10. Определить мощность, кВт, затрачиваемую на процесс резания

$$N_{\text{РЕЗ.}} = \frac{P_Z \cdot V_{\text{ФАК.}}}{60 \cdot 1020},$$

11. Определить необходимую мощность (кВт) на валу электродвигателя станка

$$N_{\text{Э}} = N_{\text{РЕЗ}} / \eta,$$

где η – коэффициент полезного действия электродвигателя.

Для осуществления процесса резания действительная мощность электродвигателя станка $N_{\text{СТ}}$ должна быть больше или в крайнем случае равна мощности $N_{\text{Э}}$, т.е. $N_{\text{СТ}} \geq N_{\text{Э}}$.

Если окажется, что $N_{\text{Э}} > N_{\text{СТ}}$, то целесообразно уменьшить не подачу, а частоту вращения шпинделя станка, выбрав ближайшую меньшую по паспорту станка. Затем подсчитать $V_{\text{ФАК.}}$, P_Z , $M_{\text{КР}}$, $N_{\text{РЕЗ}}$, $N_{\text{Э}}$ и проверить неравенство $N_{\text{СТ}} \geq N_{\text{Э}}$.

12. Подсчитать основное технологическое время в минутах

$$T_0 = \frac{\ell + y + \Delta}{n_{\text{СТ}} \cdot S_{\text{СТ}}},$$

где ℓ – длина обработки, мм;

y – величина врезания инструмента, мм;

Δ – величина перебега инструмента, мм.

2. РАСЧЁТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ МНОГОИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК

2.1. Общие положения расчёта режимов резания при многоинструментальной обработке

Рассмотрим особенности расчёта режимов резания при многоинструментальной обработке, связанные в основном с определением технологически допускаемой подачи, периода стойкости для инструментов наладки, лимитирующего инструмента или лимитирующей позиции и необходимости согласования работы отдельных позиций, шпинделей, суппортов и инструментов между собой.

При многоинструментальных наладках расчёт допускаемой подачи по прочности механизма подачи проводится для каждого суппорта в отдельности, так как все инструменты, закреплённые на одном суппорте, перемеща-

ются с одной и той же скоростью и нагружают один механизм подачи. Наибольшая подача по прочности и жёсткости инструмента и по шероховатости обработанной поверхности рассчитывается для каждого инструмента наладки в отдельности. Максимальная подача по прочности и жёсткости заготовки рассчитывается в таком положении инструментов наладки, когда на заготовку действует наибольшее число одновременно работающих инструментов. Последние расчёты являются в большинстве случаев проверочными. Выбранная допустимая величина подачи корректируется по паспорту станка. Данная подача является общей для всех инструментов, закреплённых на одном суппорте, и используется для дальнейших расчётов.

Период стойкости (в минутах) предположительно лимитирующего инструмента многоинструментальной наладки определяется по формуле:

$$T = T_M \cdot \lambda, \quad (2.1)$$

где T_M – период стойкости инструмента;

λ – коэффициент времени резания, т.е. коэффициент, определяющий долю времени работы данного инструмента в общей продолжительности работы всех инструментов наладки.

Коэффициент времени резания λ_i для рассматриваемого i -го инструмента численно равен отношению частоты вращения шпинделя за время рабочего хода суппортов на рабочей подаче. Частота вращения шпинделя за время резания равна отношению длины резания к подаче, т.е. $\ell_{рез}/S_{0i}$. Частота вращения шпинделя за время рабочего хода суппортов при их параллельной работе равна наибольшему из имеющихся (по суппортам) отношению длины рабочего хода к подаче $L_{р.п.}/S_0$.

Таким образом

$$\lambda_i = \frac{\ell_{рез}}{L_{р.п.}} \cdot \frac{S_0}{S_{0i}}. \quad (2.2)$$

При работе одним суппортом коэффициент определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{\ell_{рез}}{L_{р.п.}}, \quad (2.3)$$

где $\ell_{рез}$ – длина резания для рассматриваемого инструмента, мм;

$L_{р.п.}$ – длина рабочего хода суппорта (головки), мм.

$$L_{р.п.} = \ell_{рез} + \ell_1 + \ell_{доп}, \quad (2.4)$$

где ℓ_1 – величина подвода, врезания и перебега инструмента, мм;

$\ell_{доп}$ – дополнительная длина хода, вызванная в отдельных случаях особенностями наладки и конфигурации детали, мм.

При параллельной работе суппортов станка, когда лимитирующие по стойкости инструменты установлены на суппорте, имеющем наиболее продолжительное время работы, коэффициент λ также определяется по формуле (2.3).

В случае, когда $\lambda > 0,7$, данный коэффициент можно не учитывать и принимать $T = T_m$.

Для определения лимитирующего инструмента в наладке на лимитирующей позиции необходимо найти общий для данного станка параметр, который характеризовал бы кинематическую или конструкторскую связь между отдельными позициями, шпинделями, суппортами и отдельными инструментами станка.

Таким общим параметром в зависимости от конструктивных и кинематических особенностей станка может служить:

1. Одинаковая частота вращения заготовки при одном и том же приводе главного движения на всех позициях (одношпиндельные станки – токарные многорезцовые, гидрокопировальные автоматы и полуавтоматы, горизонтально-фрезерные, вертикально-сверлильные при комбинированном инструменте; многошпиндельные токарные горизонтальные автоматы и полуавтоматы т.п.). Лимитирующими будут являться инструменты, для которых скорость резания получается наименьшей.

2. Одинаковая минутная подача ($S_{\text{мин}}$, мм/мин) при независимости привода главного движения на каждой позиции и едином приводе подачи на всех позициях или инструментах (вертикально-сверлильные станки с многошпиндельными головками, агрегатные станки, продольно-фрезерные станки и т.п.). Лимитирующими будут являться инструменты, имеющие наименьшую минутную подачу.

3. Одинаковое основное технологическое время (T_0 , мин) на разных позициях при независимости привода главного движения и подачи на всех позициях (вертикальные многошпиндельные токарные полуавтоматы последовательного действия, многопозиционные агрегатные станки и т.п.). Лимитирующей позицией будет являться позиция, имеющая наибольшее основное технологическое время.

4. Совокупность указанных параметров при расчёте многосуппортных наладок на двух, трёх и более сторонних агрегатных станках, автоматических линиях и т.п.

По лимитирующему инструменту или позиции производится в дальнейшем корректировка режимов резания для остальных инструментов или позиций станка.

С учётом этого расчёт режимов резания при многоинструментальной обработке производится в общем случае в два основных этапа.

На первом этапе рассчитываются скорости резания, частота вращения и минутные подачи для отдельных изолированных шпинделей многошпиндельных полуавтоматов, многошпиндельных головок, инструменты которых связаны общим кинематическим параметром. На втором этапе производится корректировка режимов резания с целью выравнивания работы отдельных позиций (по лимитирующей позиции), кинематически не связанных между собой, и определение основного технологического времени.

Назначение элементов режима резания на первом этапе расчёта производится по аналогии с одноинструментальной обработкой в следующем порядке:

1. Устанавливаются глубины резания для различных инструментов наладки.

2. Определяется длина рабочего хода ($L_{р.п.}$) суппорта, исходя из длины рабочих ходов ($L_{р.х.}$), рассчитанных для отдельных инструментов (длина рабочего хода принимается равной наибольшей из рассчитанных длин для различных инструментов наладки).

3. Определяются подачи инструментов за один оборот шпинделя.

При этом необходимо учитывать технологические ограничения и поправочные коэффициенты, приводимые в нормативах резания. Выбранные подачи корректируются по паспортным данным станка. При токарной обработке для суппортов, на которых затрачивается меньшее время на обработку, значения подач понижают исходя из условия равенства частоты вращения шпинделя за ход каждого суппорта:

$$\frac{L_{р.к.1}}{S_{01}} = n = \frac{L_{р.к.2}}{S_{02}}. \quad (2.5)$$

4. Определяются периоды стойкости инструментов наладки по формуле (2.1). В данных расчётах нет необходимости вычислять величины T_m для всех инструментов наладки. Можно ограничиться лишь определением T_m для предположительно лимитирующих инструментов и исключить из расчёта явно нелимитирующие инструменты (инструменты, работающие на наименьших диаметрах заготовки).

5. По полученным значениям периода стойкости для каждого инструмента определяются допускаемые скорости резания, за исключением инструментов, для которых скорости назначаются исходя из требований, предъявляемых к точности и шероховатости обработанной поверхности, вне зависимости от периода стойкости («чистовые развертки», метчики и т.п.).

6. Рассчитываются частоты вращения или минутные подачи для отдельных инструментов. Наименьшие значения частоты вращения (n) или минутной подачи ($S_{мин}$) будут соответствовать лимитирующему по стойкости инструменту. Полученные значения n или $S_{мин}$ корректируются по паспорту

станка, при этом не рекомендуется превышать полученные минимальные значения n или $S_{\text{мин}}$ не более чем на 10-15%. По скорректированным значениям n или $S_{\text{мин}}$ производится перерасчёт действительных скоростей резания инструментов наладки.

7. Определяется суммарная сила резания для инструментов наладки

$$P_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n P_i. \quad (2.6)$$

8. Определяется мощность, затрачиваемая на процесс резания. При этом необходимо учитывать количество инструментов в наладке и общую мощность подсчитывать как сумму мощностей одновременно работающих инструментов, т.е.

$$N_{\text{рез}} = \sum_{i=1}^n N_{\text{рез}i}. \quad (2.7)$$

Проверка загрузки по мощности производится из условия:

$$N_{\text{РЕЗ}} \leq 1,2 \cdot \eta, \quad (2.8)$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий возможную кратковременную перегрузку двигателя на 20%;

$N_{\text{ст}}$ – мощность электродвигателя, кВт;

η – КПД станка.

При невыполнении данного условия соответственно уменьшают скорость резания.

9. Определяется основное технологическое время.

Расчёт основного технологического времени производится с учётом времени работы инструментов наладки: при перекрывающихся временах работы позиций (инструментов) при одновременной их работе в расчёт принимается наибольшее время работы одной позиции (инструмента), при неперекрывающихся временах работы – основное технологическое время является суммой неперекрывающихся времен работы отдельных позиций (инструментов).

Для станков, имеющих независимый привод главного движения на каждой позиции и единый привод подачи на всех позициях или инструментов, после определения минутной подачи для всех инструментов и выявления лимитирующей позиции (позиция, имеющая наименьшую минутную подачу) осуществляется второй этап расчёта, который заключается в корректировании (уменьшении) минутной подачи нелимитирующих инструментов и определении действительных скоростей резания для всех инструментов наладки. При корректировании режимов резания минутная подача на нелимитирующих позициях не должна превышать $S_{\text{мин}}$ на лимитирующей позиции.

Для многошпиндельных вертикальных токарных полуавтоматов и многопозиционных агрегатных станков с несколькими головками, имеющих независимые приводы главного движения и подачи на всех позициях, второй этап расчёта осуществляется после определения основного технологического времени на всех позициях станка и выявления лимитирующей позиции (позиции, имеющей наибольшее время обработки). Данный этап расчёта заключается в корректировании (уменьшении) минутных подач и частот вращения на не лимитирующих позициях с учётом установленного основного технологического времени на лимитирующей позиции и определении действительных скоростей резания на всех позициях станка. При понижении режимов резания на нелимитирующих позициях необходимо соблюдать условие, что время обработки на данных позициях не должно превышать времени обработки на лимитирующей позиции.

Необходимо отметить, что корректирование времени на нелимитирующих позициях следует осуществлять главным образом за счёт снижения скоростей резания, а не подач, так как при этом достигается большее повышение периодов стойкости и в большей степени улучшаются экономические показатели операции. Однако следует отметить, что при обработке стали твёрдосплавными инструментами, не рекомендуется уменьшать скорости резания ниже 45-50 м/мин, так как стойкость инструмента при таких скоростях может понизиться.

2.2. Примеры расчёта режимов резания при многоинструментальной обработке

2.2.1. Расчёт режимов резания при обработке заготовок на токарном многолезцовом многошпиндельном полуавтомате

На токарном многолезцовом одношпиндельном полуавтомате, например, модели 1N730 производится чистовая (окончательная) обработка заготовки зубчатого колеса. Материал заготовки – сталь 45 ($\sigma_B = 65 \text{ кгс/мм}^2$). Схема наладки представлена на рис. 2.1. Припуск снимается за один проход. Расчёт режимов резания производим по нормативам [3].

Общим параметром для данного многолезцового станка является частота вращения шпинделя, которая определяет скорости резания для каждого инструмента наладки.

Назначение режимов резания начинаем с выбора марки инструментального материала и типа режущего инструмента, (выбор геометрических параметров режущей части инструмента в данном и последующих примерах опустим). Согласно [3] в качестве материала режущей части инструмента

принимаем пластины из твёрдого сплава Т15К6. Выбираем резцы: резец 1 – проходной прямой правый с углом $\varphi = 45^\circ$; резец 2 – проходной упорный правый; резец 3 – подрезной левый; резец 4 – подрезной правый; резец 5 – подрезной правый.

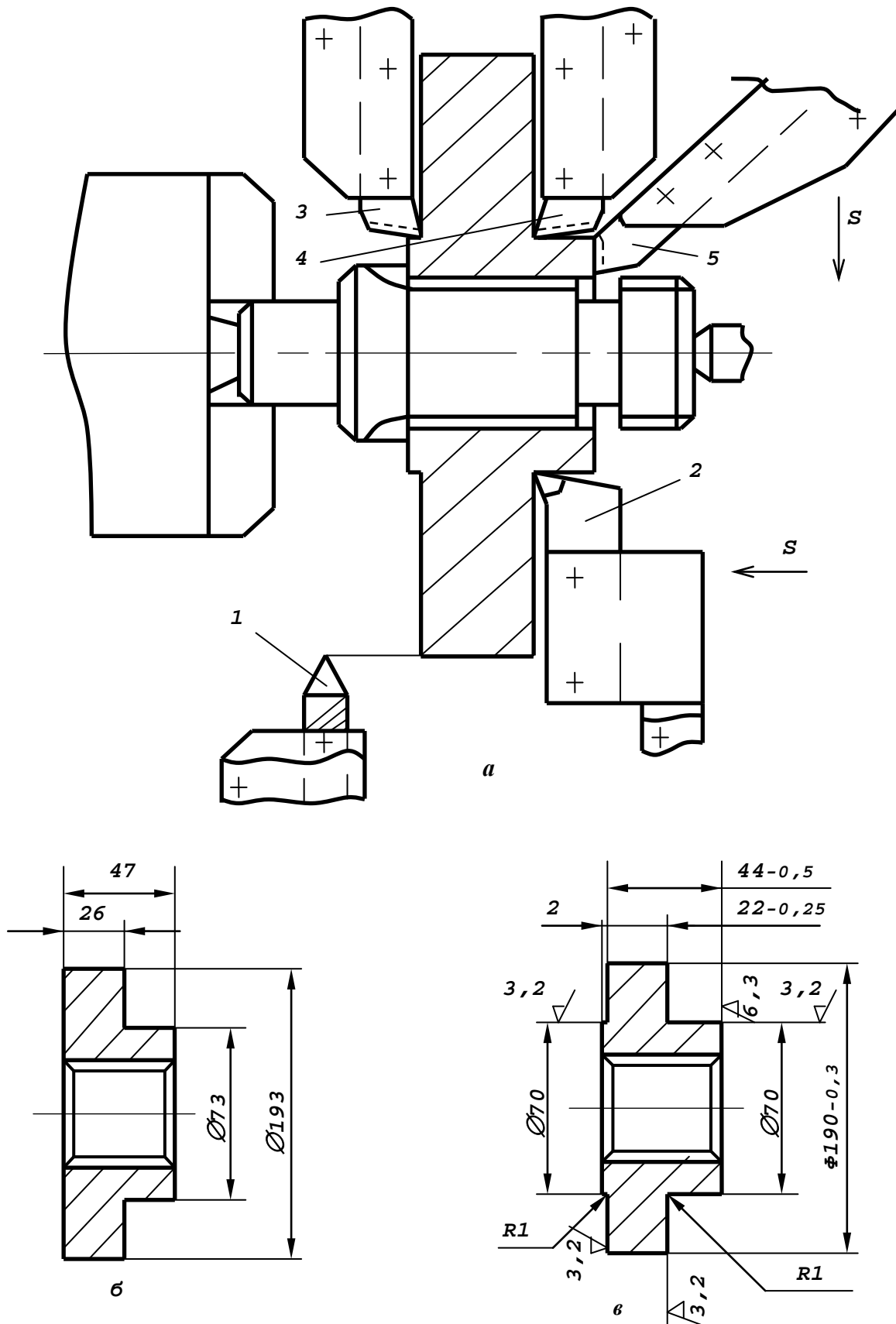


Рис. 2.1. Эскиз наладки токарного одношпиндельного полуавтомата: а – наладка; б – колесо до обработки; в – колесо после обработки

1. Устанавливаем глубину резания для каждого инструмента наладки из условия, что припуск снимается за один проход.

Для резца 1: $t = (193-190)/2 = 1,5$ мм;

для резца 2: $t = (73-70)/2 = 1,5$ мм;

для резцов 3 и 4: $t = 2$ мм;

для резца 5: $t = 1$ мм.

2. Определяем длины рабочих ходов продольного и поперечного суппортов.

Для продольного суппорта наибольшую длину резания имеет резец 1, для него $L_{р.п.} = 22+4,5+0 = 26,5$ мм (величина $l_1 = 4,5$ мм выбрана по [3]) – принимаем её в качестве длины рабочего хода данного суппорта. Для поперечного суппорта наибольшую длину резания имеют резцы 3 и 4. Соответственно длина данного суппорта равна длине хода резцов 3 и 4, а именно, $L_{р.п.} = 60+1,5+0 = 61,5$ мм.

3. Определяем подачу суппортов за оборот шпинделя.

Продольный суппорт.

Для получения шероховатости поверхности $Ra = 6,3$ мкм ($Rz = 20$ мкм) подача изменяется в пределах $(0,3-0,35)$ мм/об (карта 3). Из данного диапазона выбираем $S_0 = 0,32$ мм/об, корректируем её по паспорту станка – $S_{ост} = 0,31$ мм/об. Так как время работы продольного суппорта значительно меньше, чем поперечного, а работают они последовательно с интервалом, то можно уменьшить подачу продольного суппорта без уменьшения производительности станка.

Это достигается, как уже отмечалось, выполнением условия выравнивания продолжительности работы суппортов, при равенстве частоты вращения шпинделя за ход каждого суппорта.

$$\frac{L_{р.п.кон.}}{S_{0кон.}} = n = \frac{L_{р.п.прод.}}{S_{0прод.}};$$

$$\frac{61,5}{0,31} = 198 = \frac{26,5}{S_{0прод.}};$$

$$S_{0прод.} = 0,134 \text{ мм/об.}$$

С точки зрения износа твердосплавного инструмента при обработке стальных заготовок подачу нецелесообразно уменьшать ниже $(0,15-0,2)$ мм/об, поэтому при корректировании подачи продольного суппорта по паспорту станка принимаем $S_0 = 0,17$ мм/об.

Проверяем выбранные величины подачи для продольного и поперечного суппортов по допускаемым величинам подачи. Для осуществления процесса резания необходимо, чтобы выбранная подача была меньше допускаемой.

Подача, допускаемая прочностью державки резца (сечение державки примем 20×30 мм), равна $2,7$ мм/об [3]; подача, допускаемая прочностью пластины твердого сплава (толщину пластины примем равной 5 мм), равна $(1,4 - 1,9)$ мм/об [3]. Таким образом, условие выполняется. Кроме того, принятая для работы подача проверяется по осевой силе резания, допускаемой прочностью механизма подачи станка. По приложению 7 сила подачи для резца 1 равна 380 Н, для резца 2 – 530 Н, для резца 3 и 4 – 440 Н, для резца 5 – 530 Н. Отсюда видно, что суммарная сила подачи для продольного и поперечного суппортов не превышает допускаемой силы подачи станка ($P_{х.доп.} = 45000$ Н). Следовательно, выбранная подача по станку не лимитирует режим резания.

4. Определяем периоды стойкости инструментов:

$$T = T_M \cdot \lambda.$$

В рассматриваемой наладке принимаем предположительно лимитирующими следующие инструменты: резец 1 (работает на наибольшем диаметре) и резцы 3 и 4 имеют наибольшую длину резания.

Определяем коэффициенты времени резания инструментов.

Резец 1. Коэффициент λ для данного резца определяется с учётом отношения подач продольного и поперечного суппортов по формуле (2.2)

$$\lambda = 22/61,5 \cdot 0,31/0,17 = 0,65.$$

Резцы 3 и 4. Данные инструменты расположены на суппорте, имеющем наиболее продолжительное время работы. В этом случае коэффициент определяется по формуле (2.3)

$$\lambda = 60/61,5 = 0,975.$$

Величина периода стойкости T_M составляет 120 мин [3]. Отсюда величины стойкости для данных инструментов будут соответственно равны: для резца 1: $T = 78$ мин, для резцов 3 и 4: $T = 117$ мин (так как $\lambda > 0,7$).

5. Определяем скорости резания (м/мин) для предположительно лимитирующих инструментов наладки (карта 6)

$$V = V_{\text{табл}} \cdot K_{uv} \cdot K_{nv},$$

Для резца 1: $V_{\text{табл}} = 188$ м/мин; $K_{uv} = 1,0$; $K_{nv} = 1,0$, тогда

$$V = 188 \text{ м/мин.}$$

Для резцов 3, 4: $V_{\text{табл}} = 177$ м/мин; $K_{uv} = 1,0$; $K_{nv} = 1,0$, поэтому

$$V = 177 \text{ м/мин.}$$

Для расчёта частоты вращения шпинделя принимаем скорость резания $V = 177$ м/мин.

6. Определяем частоту вращения шпинделя станка

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D},$$

т.е.
$$n = \frac{1000 \cdot 177}{3,141 \cdot 193} = 291 \text{ об/мин.}$$

Корректируем по паспорту станка, получим $n_{\text{ст}} = 280 \text{ об/мин.}$

7. Определяем действительные скорости резания инструментов наладки.

Для резцов 1, 3, 4:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\text{ст}}}{1000},$$

т.е.
$$V = \frac{3,141 \cdot 193 \cdot 280}{1000} = 170 \text{ об/мин,}$$

для резцов 2 и 5

$$V = \frac{3,141 \cdot 73 \cdot 280}{1000} = 64 \text{ м/мин.}$$

8. Определяем суммарную мощность резания для всех инструментов наладки [3].

Для резца 1: $N_1 = 2,6 \text{ кВт};$

для резца 2: $N_2 = 1,1 \text{ кВт};$

для резца 3,4: $N_{3,4} = 2,1 \text{ кВт};$

для резца 5: $N_5 = 1,0 \text{ кВт};$

Суммарная мощность резания

$$N_{\text{рез}} = \sum_{i=1}^n N_i = 2,6 + 1,1 + 4,2 + 1,0 = 8,9 \text{ кВт.}$$

Проверка по мощности выполняется из условия

$$N_{\text{рез}} \leq 1,2 \cdot N_{\text{ст}} \cdot \eta;$$

$$8,9 < 1,2 \cdot 14 \cdot 0,81 = 13,6;$$

т.е. условие выполняется, обработка возможна.

9. Определяем основное технологическое время

$$T_0 = \frac{L_{\text{р.п.}}}{n_{\text{с.т.}} \cdot S_{\text{ост.}}},$$

$$T_0 = \frac{61,5}{280 \cdot 0,31} = 0,71 \text{ мин.}$$

2.2.2. Расчёт режимов резания при обработке заготовок на агрегатных станках

На агрегатном станке с вертикальными самодействующими силовыми головками в корпусе коробки обрабатываются четыре отверстия диаметром 16Н7 мм. Станок оснащен четырёхпозиционным поворотным столом. Привод подачи бесступенчатый.

1 позиция – загрузочная, 2 позиция – сверление четырёх отверстий диаметром $14^{+0,18}$ мм с зенкерованием фасок под углом 90° до диаметра 18 мм, 3 позиция – зенкерование четырёх отверстий диаметром $15,7^{+0,11}$ мм, 4 позиция – развертывание четырех отверстий диаметром $16^{+0,043}$ мм при сверлении отверстий и зенкерования фасок.

Эскизы наладки представлены на рис. 2.2. Материал корпуса детали – серый чугун СЧ20, НВ220.

Расчёт режимов резания производим по нормативам [3]. Общим параметром для данного станка при расчёте режимов резания является одинаковое основное технологическое время на всех позициях станка.

В качестве инструментального материала выбираем по приложению 1 для всех инструментов быстрорежущую сталь Р6М5. Позиция 2 – сверление 4-х отверстий диаметром $14^{+0,018}$ мм.

1. Определяем длину рабочего хода головки.

Чертежом заготовки предусмотрена обработка двух отверстий с $l_{рез} = 23$ мм и двух отверстий с $l_{рез} = 29$ мм. Рассчитываем $L_{рх}$ для отверстия с $l_{рез} = 29$ мм. Величина $l_1 = 6$ мм (приложение 1). Тогда $L_{рх} = 29+6+0 = 35$ мм.

2. Назначаем подачу сверл за оборот шпинделя головки.

Принимаем $S_0 = 0,35$ мм/об. Выбранная величина подачи должна быть меньше величины подачи, допускаемой прочностью механизма подачи станка (силовой головки). $S_{доп} = 1,6$ мм/об [3], следовательно, $S_0 < S_{доп}$.

3. Определим период стойкости свёрл по формуле 2.1, где $T_M = 100$ мин [3].

Величина коэффициента λ определяется как

$$\lambda_1 = 23/35 = 0,66; \lambda_2 = 29/35 = 0,83.$$

Тогда период стойкости для свёрл, обрабатывающих отверстия с $l_{рез} = 23$ мм, будет равен $T_1 = 73$ мин, а для свёрл, обрабатывающих отверстия с $l_{рез} = 29$ мм, – $T_2 = 110$ мин.

4. Определим скорость резания свёрл (м/мин)

$$V = V_{табл} \cdot K_{lv} \cdot K_{uv},$$

$$V_{табл} = 25 \text{ м/мин}; K_{lv} = 1,0; K_{uv} = 1,0 [3].$$

Тогда $V = 25$ м/мин.

5. Определяем частоту вращения шпинделя силовой головки

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D};$$

$$n = \frac{1000 \cdot 25}{3,141 \cdot 14} = 568 \text{ об/мин.}$$

6. Определяем минутную подачу силовой головки

$$S_{мин} = S_0 \cdot n \text{ или } S_{мин} = 0,35 \cdot 568 = 198 \text{ мм/мин.}$$

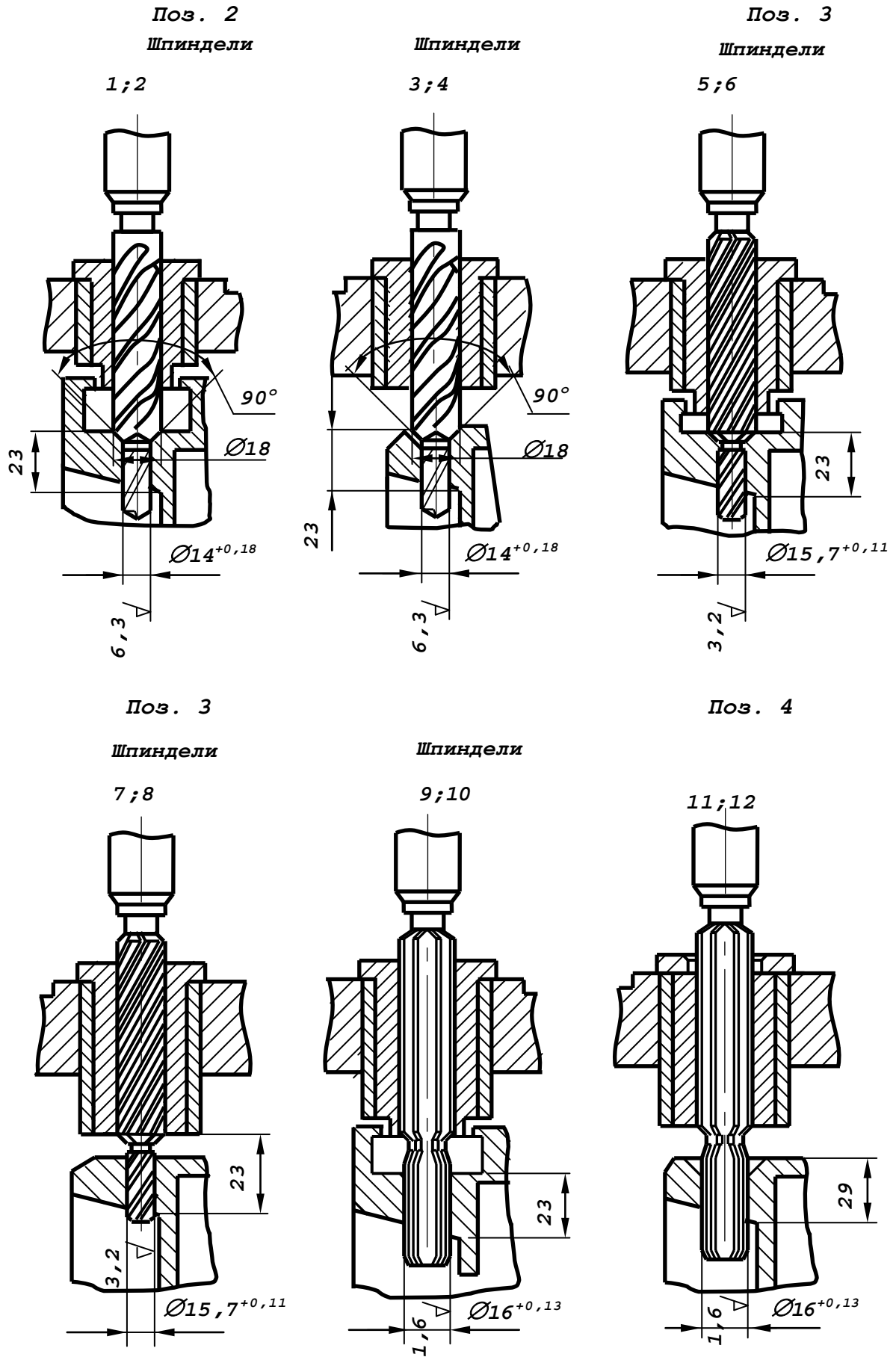


Рис. 2.2. Эскиз наладки 12-шпиндельного агрегатного вертикально-сверлильного станка

7. Определяем суммарную мощность резания (для зенкеров и разверток не рассчитывается ввиду незначительности)

$$N_{\text{рез}} = \sum_{i=1}^n N_i.$$

Мощность, затрачиваемая на резание одного сверла: $N_1 = 1$ кВт [3].

Отсюда $N_{\text{рез}} = 4 \cdot 1 = 4$ кВт.

Проверка по мощности двигателя производится по условию

$$N_{\text{рез}} \leq N_{\text{ст}} \cdot \eta.$$

Мощность электродвигателя силовой головки $N_{\text{ст}} = 6$ кВт, $\eta = 0,85$.

Тогда $N_{\text{рез}} = 4$ кВт $<$ $N_{\text{ст}} \cdot \eta = 6 \cdot 0,85 = 5,1$ кВт.

8. Определяем основное технологическое время

$$T_0 = \frac{l_{\text{рез}} + l_1 + l_{\text{доп}}}{S_{\text{мин}}} \quad \text{или} \quad T_0 = \frac{29 + 6}{198} = 0,177 \text{ мин.}$$

Позиция 3. Зенкерование четырёх отверстий диаметром, мм.

1. Определяем длину рабочего хода головки

$$L_{\text{рх}} = 29 + 3 + 0 = 32 \text{ мм.}$$

2. Назначаем подачу зенкеров на оборот шпинделя головки [3]

$$S_0 = (0,5 - 0,55) \text{ мм/об.}$$

Принимаем $S_0 = 0,5$ мм/об.

3. Определяем период стойкости зенкеров.

Аналогично, как и для сверл, $T_1 = 73$ мин и $T_2 = 110$ мин.

4. Определяем скорость резания зенкеров

$$V_{\text{табл}} = 27,5 \text{ м/мин}; K_{\text{nv}} = 1,0 [3], \text{ тогда } V = 27,5 \text{ м/мин.}$$

5. Определяем частоту вращения шпинделя силовой головки

$$n = \frac{1000 \cdot 27,5}{3,141 \cdot 15,7} = 558 \text{ об/мин.}$$

6. Минутная подача силовой головки

$$S_{\text{мин}} = 558 \cdot 0,5 = 295 \text{ мм/мин.}$$

7. Основное технологическое время

$$T_0 = \frac{29 + 3}{295} = 0,11 \text{ мин.}$$

Позиция 4. Развертывание четырёх отверстий диаметром $16^{+0,043}$.

1. Определяем длину рабочего хода головки

$$L_{\text{рх}} = 29 + 18 + 0 = 47 \text{ мм.}$$

2. Назначаем подачу разверток за один оборот шпинделя головки [3]

$$S_0 = 2,0 \text{ мм/об.}$$

3. Определяем период стойкости разверток.

Аналогично имеем $T_1 = 73$ мин, $T_2 = 110$ мин.

4. Определяем скорость резания для развёрток [3]

$$V = 6,5 \text{ м/мин.}$$

5. Определяем частоту вращения шпинделя силовой головки

$$n = \frac{1000 \cdot 6,5}{3,141 \cdot 16} = 129 \text{ об/мин.}$$

6. Определяем минутную подачу силовой головки

$$S_{\text{мин}} = 129 \cdot 2 = 258 \text{ мм/мин.}$$

7. Определяем основное технологическое время

$$T_0 = \frac{29 + 18}{258} = 0,182 \text{ мин.}$$

Из приведенного расчёта следует, что лимитирующей позицией является позиция 4, на которой наибольшее технологическое время. Полученную частоту вращения на позиции 4 скорректируем по станку. Получаем $n_{\text{ст}} = 120$ об/мин. Определим действительное основное технологическое время

$$T_{04} = \frac{47}{120 \cdot 2} = 0,195 \text{ мин.}$$

Производим корректирование режимов резания по нелимитирующим позициям.

1. Уменьшаем частоту вращения шпинделей силовых головок на позиции 2 и 3, исходя из времени T_0 на позиции 4

$$n_2 = \frac{L_{\text{р.х.}}}{S_0 \cdot T_{04}} \text{ или } n_2 = \frac{35}{0,35 \cdot 0,195} = 512 \text{ об/мин.}$$

Корректируем по станку $n_{\text{ст}} = 508$ об/мин;

$$n_3 = \frac{32}{0,5 \cdot 0,195} = 328 \text{ об/мин.}$$

Корректируем по станку $n_{\text{ст}} = 320$ об/мин.

2. Уточняем действительные скорости резания

$$V_{\text{д2}} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\text{ст}}}{1000} \text{ или } V_{\text{д2}} = \frac{3,141 \cdot 14 \cdot 508}{1000} = 22 \text{ м/мин;}$$

$$V_{\text{д3}} = \frac{3,141 \cdot 15,7 \cdot 320}{1000} = 15,1 \text{ м/мин;}$$

$$V_{\text{д4}} = \frac{3,141 \cdot 16 \cdot 120}{1000} = 6,1 \text{ м/мин.}$$

3. Мощность, затрачиваемую на процесс резания, не проверяем ввиду незначительности изменения скорости резания.

4. Уточняем основное технологическое время

$$T_{02} = \frac{35}{0,35 \cdot 508} = 0,196 \text{ мин;}$$

$$T_{03} = \frac{32}{0,5 \cdot 320} = 0,2 \text{ мин.}$$

В данном примере можно было не проводить корректировку режимов резания по лимитирующей позиции, ввиду незначительности расхождения основного технологического времени на различных позициях.

2.2.3. Расчёт режимов резания при обработке заготовок на вертикально-сверлильном станке с многошпиндельной сверлильной головкой

На вертикально-сверлильном станке, например, модели 2A135 с шестишпиндельной сверлильной головкой необходимо просверлить, зенкеровать и развернуть два соосных отверстия в колодке ручного тормоза. Заготовки закреплены на поворотном четырёхпозиционном столе по две на каждой позиции. Позиция 1 – загрузочная; позиция 2 – сверление двух отверстий диаметром $18,5^{+0,21}$ мм; позиция 3 – зенкерование этих отверстий до диаметра $19,7^{+0,13}$ мм; позиция 4 – развёртывание отверстий до диаметра $20^{+0,033}$ мм. Передаточное отношение (i) для шпинделей, несущих свёрла и зенкера, – 1,25, несущих развёртки – 0,75. Обрабатываемый материал – ковкий чугун КЧ45-7, НВ<163. Схема обработки представлена на рис. 2.3.

Общим параметром в данной наладке является минутная подача, одинаковая для всех инструментов.

Расчёт режимов резания ведём по нормативам [8].

В качестве инструментального материала для всех инструментов выбираем твердый сплав ВК6 [8].

1. Определяем величину рабочего хода головки

$$L_{р.х.} = l_{рез} + l_1 + l_{доп.}$$

Величина $l_{доп.}$ для всех инструментов наладки равна 55 мм и вызвана особенностью конфигурации детали. Величина l_1 для свёрл равна 8 мм, зенкеров – 4 мм, разверток – 17 мм [8]. Тогда величина рабочего хода равна:

$$\text{для свёрл} - L_{р.х.} = 37+8+55 = 100 \text{ мм};$$

$$\text{для зенкеров} - L_{р.х.} = 37+3+55 = 95 \text{ мм};$$

$$\text{для развёрток} - L_{р.х.} = 37+17+55 = 109 \text{ мм.}$$

Следовательно, длина рабочего хода головки будет 109 мм (наибольшая из всех длин для отдельных инструментов).

2. Определяем величину подачи:

Для свёрл – $S_0 = 0,5$ мм/об, для зенкеров – $S_0 = 0,8$ мм/об, для развёрток – $S_0 = 0,84$ мм/об [8]. Величина подачи для каждого инструмента будет равна $S_{0.ш.} = S_0 \cdot i$. Тогда для свёрл – $S_{0.ш.} = 0,5 \cdot 1,25 = 0,62$ мм; для зенкеров – $S_{0.ш.} = 0,8 \cdot 1,25 = 1$ мм/об ; для развёрток – $S_{0.ш.} = 0,84 \cdot 0,75 = 0,63$ мм/об .

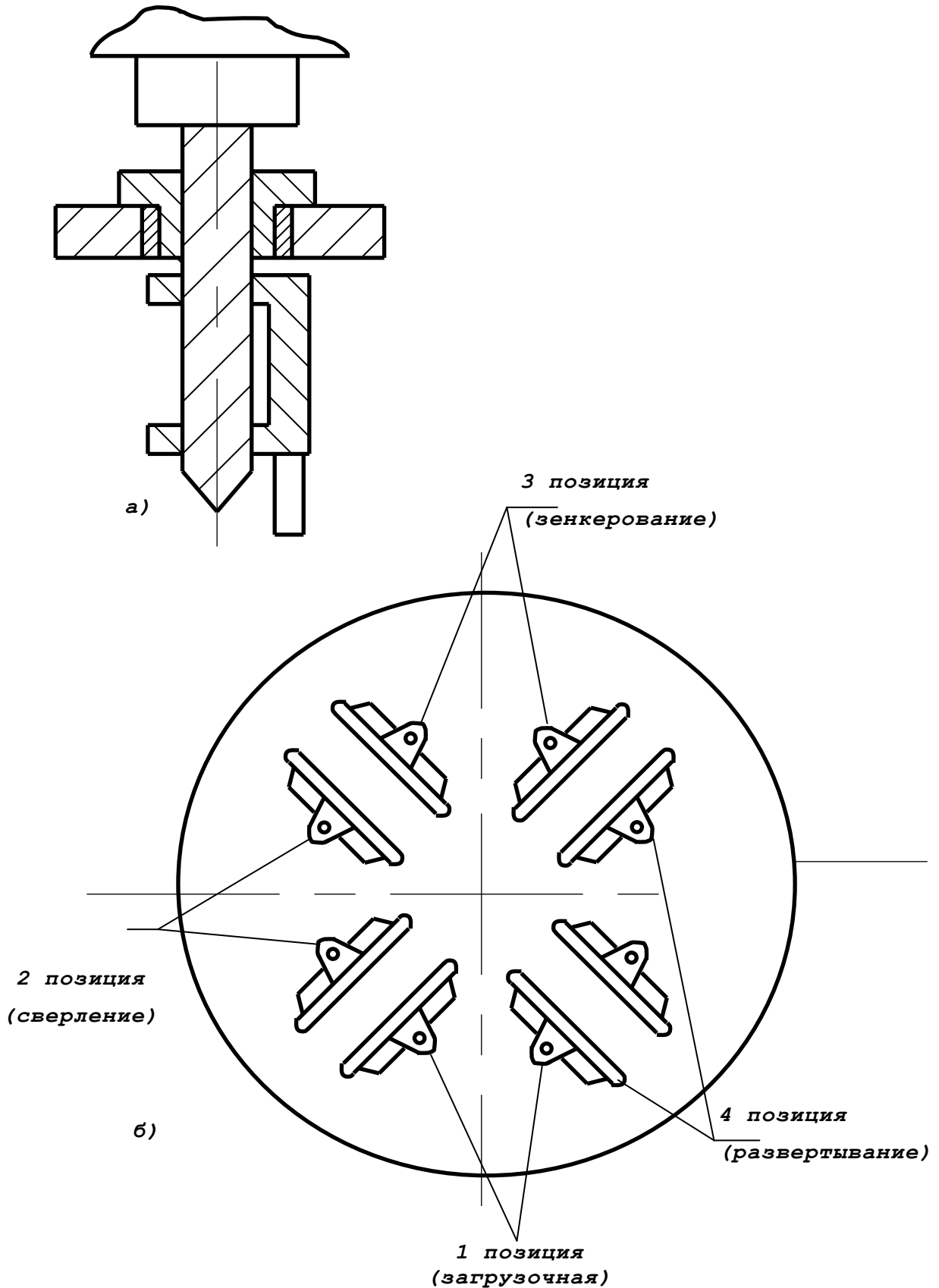


Рис. 2.3. Эскиз обработки (а) и схема расположения позиций на сверлильном станке с многошпиндельной сверлильной головкой (б)

Наименьшую из полученных подач корректируем по паспорту станка. Выбираем $S_{o,ш.ст.} = 0,57$ мм/об. В соответствии с принятой подачей произво-

дим обратный перерасчёт подачи на оборот каждого инструмента по формуле $S_0 = \frac{S_{\text{о.ш.ст.}}}{i}$.

$$\text{Для свёрл и зенкеров} - S_0 = \frac{0,57}{1,25} = 0,45 \text{ мм/об};$$

$$\text{для развёрток} - S_0 = \frac{0,57}{0,75} = 0,76 \text{ мм/об}.$$

3. Определяем периоды стойкости инструментов (мин)

$$T = T_M \cdot \lambda.$$

По таблицам нормативов [3] величина периода стойкости для инструментов наладки равна 145 мин.

Коэффициент времени резания для всех инструментов будет равен

$$\lambda = l_{\text{рез}}/L_{\text{р.х.}} = 37/109 = 0,34.$$

Отсюда $T = 145 \cdot 0,34 = 49,3$ мин.

4. Определяем скорости резания инструментов наладки (м/мин)

$$V = V_{\text{табл.}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3.$$

Для свёрл – $V_{\text{табл.}}=28$ м/мин; $K_1 = 1,15$; $K_2 = 1,25$; $K_3 = 1$ [8], тогда $V = 28 \cdot 1,15 \cdot 1,25 \cdot 1,0 = 40,2$ м/мин.

Для зенкеров – $V_{\text{табл.}}=54$ м/мин; $K_1 = 1,15$; $K_2 = 1,25$; $K_3 = 1$, тогда $V = 54 \cdot 1,15 \cdot 1,25 \cdot 1,0 = 77,5$ м/мин.

Для развёрток – $V = 20$ м/мин [8].

5. Определяем частоту вращения инструментов наладки (об/мин).

$$\text{Для свёрл} - n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 40,2}{3,141 \cdot 18,5} = 692 \text{ об/мин}.$$

$$\text{Для зенкеров} - n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 77,5}{3,141 \cdot 19,7} = 1250 \text{ об/мин}.$$

$$\text{Для развёрток} - n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 20}{3,141 \cdot 20} = 318 \text{ об/мин}.$$

6. Определяем минутную подачу головки.

Для этого рассчитываем минутную подачу для всех инструментов наладки (мм/мин).

$$\text{Для свёрл} - S_{\text{мин}} = S_0 \cdot n = 692 \cdot 0,45 = 307.$$

$$\text{Для зенкеров} - S_{\text{мин}} = 1250 \cdot 0,45 = 562.$$

$$\text{Для развёрток} - S_{\text{мин}} = 318 \cdot 0,76 = 242.$$

Минутная подача головки будет равна наименьшей из рассчитанных минутных подач, т.е. $S_{\text{мин}} = 242$.

7. Определяем частоту вращения шпинделя станка, соответствующую выбранной минутной подаче (об/мин)

$$n_{\text{шп}} = \frac{S_{\text{мин}}}{S_{\text{о.ш.ст.}}} = \frac{242}{0,57} = 425 \text{ об/мин.}$$

Корректируем данную величину по паспорту станка, получаем

$$n_{\text{шп.ст.}} = 400 \text{ об/мин.}$$

Таким образом, частота вращения шпинделя станка равна 400 об/мин, а подача головки за оборот шпинделя станка равна 0,57 мм/об.

8. На основании полученной частоты вращения шпинделя станка уточняем частоту вращения инструментов наладки по формуле (об/мин)

$$n_i = n_{\text{шп.ст.}} \cdot i.$$

Для свёрл – $n = 400 \cdot 1,25 = 500$;

для зенкеров - $n = 400 \cdot 1,25 = 500$;

для развёрток - $n = 400 \cdot 0,75 = 300$.

9. Определяем действительные скорости резания инструментов наладки (м/мин)

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000},$$

Для свёрл – $V_d = \frac{3,141 \cdot 18,5 \cdot 500}{1000} = 29$;

для зенкеров – $V_d = \frac{3,141 \cdot 19,7 \cdot 500}{1000} = 31$;

для развёрток – $V_d = \frac{3,141 \cdot 20 \cdot 300}{1000} = 18,9$.

10. Определяем силы резания

$$P_0 = P_{\text{табл}} K_p, \text{ Н.}$$

Для свёрл – $P_{\text{табл}} = 7150 \text{ Н}$; $K_p = 0,9$ [8], тогда $P_0 = 715 \cdot 0,9 = 640 \text{ кгс} = 6400 \text{ Н}$.

Для зенкеров – $P_{\text{табл}} = 650 \text{ Н}$; $K_p = 0,9$; тогда $P_0 = 65 \cdot 0,9 = 58 \text{ кгс} = 580 \text{ Н}$.

Для развёрток осевую силу не определяем ввиду её незначительности.

Суммарная осевая сила – $P_{\text{сум}} = 2 \cdot 640 + 2 \cdot 58 = 1396 \text{ кгс} = 13960 \text{ Н}$.

11. Определяем мощность, затрачиваемую на процесс резания.

Для свёрл – $N_{\text{рез}} = N_{\text{табл}} \cdot K_N \cdot n/1000$, кВт.

$N_{\text{табл}} = 3,8 \text{ кВт}$; $K_N = 0,9$ [8], тогда

$$N_{\text{рез}} = 3,8 \cdot 0,9 \cdot 500/1000 = 1,7 \text{ кВт.}$$

Для зенкеров - $N_{\text{рез}} = N_{\text{табл}} \cdot K_N \cdot V/100$, кВт.

$N_{\text{табл}} = 1,5 \text{ кВт}$; $K_N = 0,9$ [8], тогда

$$N_{\text{рез}} = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 31/100 = 0,42 \text{ кВт.}$$

Суммарная мощность резания $N_{\text{сум}} = 2 \cdot 1,7 + 2 \cdot 0,42 = 4,22 \text{ кВт}$.

Проверка по мощности двигателя станка

$N_{\text{рез}} < 1,2 \cdot N_{\text{ст}} \cdot \eta$; $4,22 < 1,2 \cdot 4,5 \cdot 0,81 = 4,4$,

т.е. обработка возможна.

2.2.4. Расчёт режимов резания при обработке заготовок на токарном вертикальном полуавтомате

На шестишпиндельном полуавтомате, например, мод. 1284 производится обработка ступицы колеса автомобиля. Материал заготовки – ковкий чугун КЧ35-10, HB < 163. Схема наладки представлена на рис. 2.4. Расчёт режимов резания ведём по нормативам [8].

Общим параметром для данного станка является одинаковое основное технологическое время на всех рабочих позициях станка.

В качестве инструментального материала для режущих инструментов применяем твёрдый сплав ВК6 [8].

Позиция 2. Подрезка торца ступицы и фланца суппортом А (шероховатость обработанной поверхности Ra=12,5 (R_z 80)).

1. Устанавливаем глубину резания.

Резец 1 – t = 2 мм; резец 2 – t = 2 мм; резец 3 – t = 4 мм.

2. Определяем длину хода суппорта (мм). Для этого определяем длину хода для каждого резца

$$L_{p.x.} = l_{рез} + l_1 + l_{доп} ,$$

Величина $l_{рез}$ соответственно равна: для резцов 1 и 2 – 10 мм, для резца 3 – 40 мм.

Величина l_1 : для резцов 1 и 2 – 8 мм; для резца 3 – 3 мм [8].

Тогда для резцов 1, 2 – $L_{p.x.} = 10 + 8 + 0 = 18$ мм, для резца 3 – $L_{p.x.} = 40 + 3 + 0 = 43$ мм.

Принимаем длину хода суппорта равной 43 мм.

3. Определяем подачу за оборот детали [8]

$$S_0 = 0,5 - 0,7 \text{ мм/об.}$$

Выбираем $S_0 = 0,5$ мм/об, корректируем по станку –

$$S_{0 \text{ CT}} = 0,51 \text{ мм/об.}$$

4. Определяем период стойкости инструментов (мин)

$$T = T_M \cdot \lambda ,$$

Величина $T_M = 150$ мин [8].

Коэффициенты времени резания соответственно равны:

для резцов 1 и 2 – $\lambda = l_{рез}/L_{p.x.} = 10/43 = 0,23$; для резца 3 – $\lambda = 40/43 = 0,93$.

Тогда $T_1 = T_2 = 150 \cdot 0,23 = 34,5$ мин; $T_3 = T_M = 150$ мин.

5. Определяем скорости резания для инструментов наладки по формуле

$$V = V_{табл} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 .$$

Для резцов 1, 2 – $V_{табл} = 85$ м/мин; $K_1 = 0,85$; $K_2 = 1,75$; $K_3 = 1,05$ [8].

Для резца 3 – $V_{табл} = 64$ м/мин; $K_1 = 0,85$; $K_2 = 1,15$; $K_3 = 1,05$.

Тогда для резца 1 – $V = 85 \cdot 0,85 \cdot 1,75 \cdot 1,05 = 128$ м/мин;

для резца 2 – $V = 85 \cdot 1,3 \cdot 1,75 \cdot 1,05 = 204$ м/мин;

для резца 3 – $V = 64 \cdot 0,85 \cdot 1,15 \cdot 1,05 = 66$ м/мин.

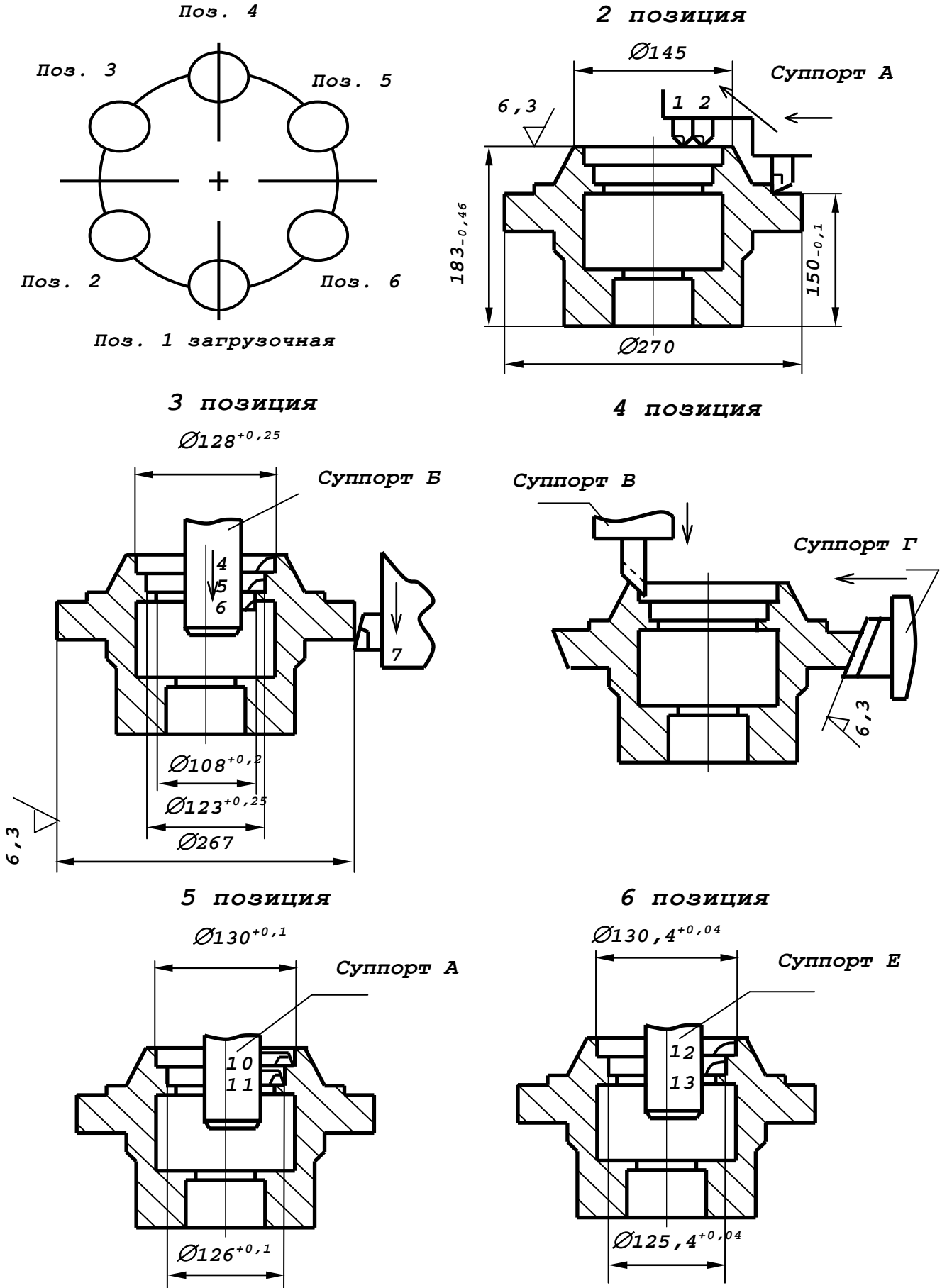


Рис. 2.4. Эскиз обработки и схема расположения позиций на токарном полуавтомате

Лимитирующим по стойкости инструментом является резец 3, поэтому для расчёта частоты вращения шпинделя на данной позиции принимаем скорость $V = 66$ м/мин.

6. Определяем частоту вращения шпинделя (об/мин)

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad \text{или} \quad n = \frac{1000 \cdot 66}{3,141 \cdot 270} = 78.$$

Корректируем по паспорту станка, $n_{ст} = 83$ об/мин.

7. Определяем действительные скорости резания для инструментов наладки (м/мин).

$$\text{Для резцов 1, 2} - V_{\partial} = \frac{\pi D n_{\partial}}{1000} = \frac{3,141 \cdot 145 \cdot 83}{1000} = 38;$$

$$\text{для резца 3} - V_{\partial} = \frac{3,141 \cdot 270 \cdot 83}{1000} = 70..$$

8. Определяем силы резания (Н)

$$P_z = P_{z \text{ табл}} \cdot K_1 \cdot K_2.$$

Для резцов 1, 2 – $P_{z \text{ табл}} = 2700$ Н; $K_1 = 0,55$; $K_2 = 1,0$ [8].

Для резца 3 – $P_{z \text{ табл}} = 5400$ Н; $K_1 = 0,55$; $K_2 = 1,0$.

Тогда для резцов 1, 2 – $P_z = 270 \cdot 0,55 \cdot 1 = 148,5$ кгс = 1485 Н;

для резца 3 – $P_z = 540 \cdot 0,55 \cdot 1 = 297$ кгс = 2970 Н.

9. Определяем мощность резания

Для резцов 1, 2, 3 – $N_{\text{табл}} = 1,3$ кВт; $K_N = 1,0$ [8].

Для резца 3 – $N_{\text{рез}} = 1,3 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 70/100 = 3,6$ кВт.

Отсюда суммарная мощность $N_{\text{сум}} = 2 \cdot 0,99 + 3,6 = 5,6$ кВт.

Проведём проверку по мощности электродвигателя

$$N_{\text{рез}} < 1,2 \cdot N_{\text{ст}} \cdot \eta = 1,2 \cdot 6,8 \cdot 0,8 = 6,5 \text{ кВт},$$

т.е. обработка возможна.

10. Определяем основное технологическое время (мин)

$$T_{02} = \frac{L_{\text{п.х}}}{n_{\text{ст}} S_{\text{ст}}} \quad \text{или} \quad T_{02} = 43/83 \cdot 0,51 = 1,1.$$

Позиция 3. Черновая обработка внутренних отверстий и фланца суппортом Б (шероховатость обработанной поверхности $Ra=12,5$ ($R_z 80$)).

1. Устанавливаем глубину резания.

Резец 4 – $t = 1$ мм; резец 5 – $t = 2,5$ мм; резец 6 – $t = 1,5$ мм; резец 7 – $t = 1,5$ мм.

2. Определяем длину хода суппорта.

Величина l_1 соответственно равна: для резца 4 – 20 мм; для резца 5 – 22 мм; для резца 6 – 12 мм; для резца 7 – 23 мм.

Тогда для резца 4 – $L_{\text{п.х.}} = 20 + 4 + 0 = 24$ мм;

для резца 5 – $L_{\text{п.х.}} = 22 + 6 + 0 = 28$ мм;

для резца 6 – $L_{p.x.} = 12 + 4 + 0 = 16$ мм;

для резца 7 – $L_{p.x.} = 23 + 6 + 0 = 29$ мм.

Отсюда рабочая длина суппорта – $L_{p.x.} = 29$ мм.

3. Определяем подачу резцов

$S_0 = 0,5$ мм/об, корректируем по станку, $S_{0\text{ CT}} = 0,51$ мм/об.

4. Определяем период стойкости инструментов (мин)

$$T = T_m \cdot \lambda .$$

Величина коэффициентов λ равна

для резца 4 – $\lambda = l_{\text{рез}}/L_{p.x.} = 20/29 = 0,7$;

для резца 5 – $\lambda = 22/29 = 0,76$;

для резца 6 – $\lambda = 12/29 = 0,41$;

для резца 7 – $\lambda = 23/29 = 0,79$.

Величина $T_m = 175$ мин, тогда $T_4 = T_5 = T_7 = T_m = 175$ мин; $T_6 = 175 \cdot 0,41 = 71,8$ мин.

5. Определяем скорости резания.

Для резца 4 – $V = V_{\text{табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 97 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 78$ м/мин;

для резца 5 – $V = 77 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 62$ м/мин;

для резца 6 – $V = 77 \cdot 0,85 \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 82$ м/мин;

для резца 7 – $V = 77 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 62$ м/мин.

Лимитирующим инструментом будет резец 7, работающий на максимальном диаметре.

Для расчёта частоты вращения шпинделя на данной позиции принимаем скорость $V = 62$ м/мин.

6. Определяем частоту вращения шпинделя (об/мин)

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 62}{3,141 \cdot 267} = 74.$$

Корректируем по паспорту станка $n_{\text{CT}} = 75$ об/мин.

7. Определяем действительные скорости резания инструментов (м/мин).

Для резца 4 – $V_d = \frac{3,141 \cdot 128 \cdot 75}{1000} = 30$; ;

для резца 5 – $V_d = \frac{3,141 \cdot 123 \cdot 75}{1000} = 29$; ;

для резца 6 – $V_d = \frac{3,141 \cdot 108 \cdot 75}{1000} = 26$; ;

для резца 7 – $V_d = \frac{\pi D n_{\text{CT}}}{1000} = \frac{3,141 \cdot 267 \cdot 75}{1000} = 63$.

8. Определяем силы резания.

Для резца 4 – $P_z = 135 \cdot 0,55 \cdot 1 = 74$ кгс = 740 Н;

для резца 5 – $P_z = 340 \cdot 0,55 \cdot 1 = 187 \text{ кгс} = 1870 \text{ Н}$;

для резца 6, 7 – $P_z = 200 \cdot 0,55 \cdot 1 = 110 \text{ кгс} = 1100 \text{ Н}$.

9. Определяем мощность резания.

Для резца 4 – $N_{\text{рез}} = 1,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 30/100 = 0,39 \text{ кВт}$;

для резца 5 – $N_{\text{рез}} = 1,3 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot 29/100 = 0,94 \text{ кВт}$;

для резца 6 – $N_{\text{рез}} = 1,3 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 26/100 = 0,5 \text{ кВт}$;

для резца 7 – $N_{\text{рез}} = 1,3 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 63/100 = 1,23 \text{ кВт}$.

Суммарная мощность резания

$$N_{\text{рез}} = \sum N_{\text{рез}i} = 0,39 + 0,94 + 0,5 + 1,23 = 3,06 \text{ кВт}$$

10. Определяем основное технологическое время(мин)

$$T_{\text{ос}} = \frac{29}{75 \cdot 0,51} = 0,76.$$

Позиция 4. Обработка фаски суппортом В и фланца суппортом Г (см. шероховатость обработанной поверхности $Ra = 6,3$ ($Rz 50$)).

1. Устанавливаем глубину резания.

Резец 8 – $t = 1,5 \text{ мм}$; резец 9 – $t = 23 \text{ мм}$.

2. Определяем длину хода суппортов.

Величина l_1 для резца 8 – $1,5 \text{ мм}$; для резца 9 – 5 мм .

Длина хода резца 8 – $L_{\text{р.х.}} = 1,5 + 3,5 = 5 \text{ мм}$;

для резца 9 – $L_{\text{р.х.}} = 5 + 2 = 7 \text{ мм}$.

Принимаем длину хода продольного и поперечного хода равной 7 мм .

3. Определяем подачу инструментов:

для резца 8 – $S_0 = 0,8 \text{ мм/об}$ [8];

для резца 9 – $S_0 = 0,25 \text{ мм/об}$.

Согласно рекомендациям по данному станку для «сдвоенных» суппортов с отношением ходов 1:1 подача вертикального суппорта равна подаче горизонтального суппорта.

Принимаем общую подачу равной $0,25 \text{ мм/об}$. Корректируем по паспорту станка – $S_{0 \text{ СТ}} = 0,24 \text{ мм/об}$.

4. Определяем периоды стойкости инструментов (мин)

$$T = T_m \cdot \lambda.$$

Величина коэффициента λ соответственно равна:

для резца 8 – $\lambda = 1,5/7 = 0,21$;

для резца 9 – $\lambda = 5/7 = 0,71$.

Величина $T_m = 100 \text{ мин}$, тогда $T_8 = 100 \cdot 0,21 = 21 \text{ мин}$; $T_9 = T_m = 100 \text{ мин}$.

5. Определяем скорости резания.

Для резца 8 – $V = 105 \cdot 1,3 \cdot 1,75 \cdot 1,05 = 250 \text{ м/мин}$;

для резца 9 – $V = 62 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 0,8 = 77 \text{ м/мин}$.

Лимитирующим инструментом является резец 9. Для расчёта частоты вращения принимаем скорость $V = 77$ м/мин.

6. Определяем частоту вращения шпинделя

$$n = \frac{1000 \cdot 77}{3,141 \cdot 267} = 92 \text{ об/мин.}$$

Корректируем по паспорту станка – $n_{ст} = 92$ об/мин.

7. Определяем действительные скорости резания.

Для резца 8 – $V_d = 3,141 \cdot 128 \cdot 92/1000 = 40$ м/мин;

для резца 9 – $V_d = 3,141 \cdot 267 \cdot 92/1000 = 77$ м/мин.

8. Определяем силы резания.

Для резца 8 – $P_z = 110 \cdot 0,55 \cdot 1 = 60$ кгс = 600 Н;

для резца 9 – $P_z = 70 \cdot 23 \cdot 0,55 = 885$ кгс = 8850 Н.

9. Определяем мощность резания.

Для резца 8 – $N_{рез} = 0,8 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 40/100 = 0,48$ кВт ;

для резца 9 – $N_{рез} = 0,8 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 77/100 = 6,16$ кВт.

Допускаемая величина мощности равна

$$1,2 \cdot N_{ст} \cdot \eta = 1,2 \cdot 6,8 \cdot 0,8 = 6,5 \text{ кВт.}$$

Определим скорость резания, соответствующую данной мощности:

для резца 9 – $V = 60 \cdot 102 \cdot N_{рез}/P_z = 60 \cdot 102 \cdot 6,5/885 = 45$ м/мин.

Тогда частота вращения шпинделя на данной позиции

$$n = 1000 \cdot 45/3,141 \cdot 267 = 55 \text{ об/мин.}$$

Корректируем по паспорту станка $n_{ст} = 56$ об/мин.

10. Определяем основное технологическое время (мин)

$$T_{04} = 7/0,24 \cdot 56 = 0,52.$$

Позиция 5. Полуцистовая обработка внутренних отверстий суппортом Д (шероховатость обработанной поверхности $Ra=3,2$ ($R_z 20$)).

1. Устанавливаем глубину резания.

Резец 10 – $t = 1$ мм; резец 11 – $t = 1$ мм.

2. Определяем длину хода суппорта.

Величина l_1 для резца 10 – 20 мм; для резца 11 – 22 мм.

Тогда для резца 10 – $L_{р.п.} = 20 + 4 + 0 = 24$ мм;

для резца 11 – $L_{р.п.} = 22 + 4 + 0 = 26$ мм.

Принимаем длину хода суппорта равной 26 мм.

3. Определяем подачу инструментов – $S_0 = 0,35$ мм/об. Корректируем по паспорту станка – $S_{0 ст} = 0,34$ мм/об.

4. Определяем периоды стойкости инструментов (мин)

$$T = T_m \cdot \lambda.$$

Величина коэффициента λ равна:

для резца 10 – $\lambda = 20/26 = 0,77$; для резца 11 – $\lambda = 22/26 = 0,85$.

Величина $T_m = 100$ мин, тогда $T_{10} = T_{11} = T_m = 100$ мин.

5. Определяем скорости резания (м/мин)

$$V_{10} = V_{11} = 110 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 180.$$

В качестве лимитирующего инструмента принимаем резец 10.

6. Определяем частоту вращения шпинделя

$$n = 1000 \cdot 180 / 3,141 \cdot 130 = 440 \text{ об/мин.}$$

Корректируем по паспорту станка $n_{ст} = 184$ об/мин.

7. Определяем действительные скорости резания (м/мин).

Для резца 10 – $V_d = 3,141 \cdot 130 \cdot 184 / 1000 = 75$;

для резца 11 – $V_d = 3,141 \cdot 125 \cdot 184 / 1000 = 72$.

8. Определяем силы резания.

Для резцов 10 и 11 – $P_z = 100 \cdot 0,55 = 55 \text{ кгс} = 550 \text{ Н}$.

9. Определяем мощность резания.

Для резца 10 – $N_{рез} = 1,0 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 75 / 100 = 0,75 \text{ кВт}$;

для резца 11 – $N_{рез} = 1,0 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 72 / 100 = 0,72 \text{ кВт}$.

Суммарная мощность резания – $N_{рез} = \sum N_{рез_i} = 0,75 + 0,72 = 1,47 \text{ кВт}$

10. Определяем основное технологическое время

$$T_{05} = \frac{16}{184 \cdot 0,34} = 0,4 \text{ мин.}$$

Позиция 6. Чистовая обработка внутренних отверстий суппортом Е (шероховатость обработанной поверхности $R_a 2,5$).

1. Устанавливаем глубину резания.

Резец 12 – $t = 0,2$ мм; резец 13 – $t = 0,2$ мм.

2. Определяем длину хода суппорта.

Величина l_1 для резца 12 равна 20 мм; для резца 13 – 22 мм.

Отсюда длина хода суппорта аналогично предыдущей позиции равна 26 мм.

3. Определяем подачу инструментов.

$S_0 = 0,15$ мм/об. Корректируем по паспорту станка $S_{0 ст} = 0,17$ мм/об.

4. Определяем периоды стойкости инструментов

Аналогично предыдущей позиции $T = 100$ мин.

5. Определяем скорости резания

$$V_{12} = V_{13} = 120 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 190 \text{ м/мин.}$$

В качестве лимитирующего инструмента принимаем резец 12.

6. Определяем частоту вращения шпинделя

$$n = 1000 \cdot 190 / 3,141 \cdot 130,4 = 466 \text{ об/мин.}$$

Корректируем по паспорту станка $n_{ст} = 184$ об/мин.

7. Определяем действительные скорости резания (м/мин).

Для резца 12 – $V_d = \frac{3,141 \cdot 130,4 \cdot 184}{1000} = 74,8$;

$$\text{для резца 13} - V_d = \frac{3,141 \cdot 125,4 \cdot 184}{1000} = 72.$$

8. Определяем силы резания.

$$\text{Для резцов 12, 13} - P_z = 15 \cdot 0,55 = 8,25 \text{ кгс} = 82,5 \text{ Н.}$$

9. Определяем мощность резания (кВт).

$$\text{Для резца 12} - N_{\text{рез}} = \frac{0,6 \cdot 1 \cdot 0,2 \cdot 74,8}{100} = 0,09;$$

$$\text{для резца 13} - N_{\text{рез}} = \frac{0,6 \cdot 1 \cdot 0,2 \cdot 72}{100} = 0,08.$$

Суммарная мощность резания (кВт)

$$N_{\text{рез}} = \sum N_{\text{рез}i} = 0,09 + 0,08 = 0,17 \text{ кВт.}$$

10. Определяем основное технологическое время (мин)

$$T_{06} = 26 / (0,17 \cdot 184) = 0,8.$$

Из приведенного расчёта следует, что лимитирующей позицией является позиция 2, так как по данной позиции наибольшее время обработки.

Производим корректирование режимов резания на нелимитирующих позициях.

1. Уменьшаем частоту вращения шпинделей из принятого времени позиции 2 ($T_{02} = 1,1$ мин).

$$\text{Позиция 3: } n = \frac{L_{\text{р.х.}}}{T_{02} \cdot S_{\text{ост}}} = \frac{29}{1,1 \cdot 0,51} = 51,7 \text{ об/мин,}$$

корректируем по паспорту станка $n_{\text{ст}} = 56$ об/мин.

$$\text{Позиция 4: } n = \frac{7}{1,1 \cdot 0,24} = 26,5 \text{ об/мин,}$$

корректируем по паспорту станка $n_{\text{ст}} = 29,5$ об/мин.

$$\text{Позиция 5: } n = \frac{26}{1,1 \cdot 0,34} = 69,5 \text{ об/мин,}$$

корректируем по паспорту станка $n_{\text{ст}} = 75$ об/мин.

$$\text{Позиция 6: } n = \frac{26}{1,1 \cdot 0,17} = 139 \text{ об/мин,}$$

корректируем по паспорту станка $n_{\text{ст}} = 143$ об/мин.

2. Уточняем действительные скорости резания.

$$\text{Позиция 3. Для резца 4} - V_d = \frac{3,141 \cdot 128 \cdot 56}{1000} = 22,5 \text{ м/мин;}$$

$$\text{для резца 5} - V_d = \frac{3,141 \cdot 123 \cdot 56}{1000} = 21,6 \text{ м/мин;}$$

$$\text{для резца 6} - V_d = \frac{3,141 \cdot 108 \cdot 56}{1000} = 18,9 \text{ м/мин;}$$

$$\text{для резца 7} - V_d = \frac{3,141 \cdot 267 \cdot 56}{1000} = 46,9 \text{ м/мин.}$$

Скорости резания недопустимо малы для твердосплавного инструмента, поэтому увеличим частоту вращения шпинделя, оставив без изменения величину минутной подачи.

Принимаем $n_{ст} = 83$ об/мин и $S_{0ст} = 0,34$ мм/об. Тогда скорости резания соответственно равны:

$$V_{д4} = 33 \text{ м/мин, } V_{д5} = 32 \text{ м/мин, } V_{д6} = 28 \text{ м/мин, } V_{д7} = 69 \text{ м/мин.}$$

$$\text{Позиция 4. Для резца 8} - V_d = \frac{3,141 \cdot 128 \cdot 29,5}{1000} = 11,8 \text{ м/мин;}$$

$$\text{для резца 9} - V_d = \frac{3,141 \cdot 267 \cdot 29,5}{1000} = 24,2 \text{ м/мин.}$$

Скорости резания по данной позиции также недопустимо малы. Принимаем $S_{0ст} = 0,17$ мм/об, тогда при неизменной минутной подаче $n_{ст} = 45,5$ об/мин.

Отсюда скорости резания соответственно равны:

$$V_{д8} = 18,8 \text{ м/мин; } V_{д9} = 37,4 \text{ м/мин.}$$

$$\text{Позиция 5. Для резца 10} - V_d = \frac{3,141 \cdot 130 \cdot 75}{1000} = 30,6 \text{ м/мин;}$$

$$\text{для резца 11} - V_d = \frac{3,141 \cdot 125 \cdot 75}{1000} = 29,4 \text{ м/мин.}$$

Аналогично, для повышения скорости принимаем $S_{0ст} = 0,24$ мм/об, и, соответственно $n_{ст} = 108$ об/мин. Тогда $V_{д10} = 44$ м/мин, $V_{д11} = 43$ м/мин.

$$\text{Позиция 6. Для резца 12} - V_d = \frac{3,141 \cdot 130,4 \cdot 143}{1000} = 58 \text{ м/мин;}$$

$$\text{для резца 13} - V_d = \frac{3,141 \cdot 125,4 \cdot 143}{1000} = 56 \text{ м/мин.}$$

3. Уточняем силы резания на каждой позиции.

$$\text{Позиция 3. Для резца 4} - P_z = 100 \cdot 0,55 = 55 \text{ кгс} = 550 \text{ Н;}$$

$$\text{для резца 5} - P_z = 250 \cdot 0,55 = 137,5 \text{ кгс} = 1375 \text{ Н;}$$

$$\text{Для резцов 6 и 7} - P_z = 150 \cdot 0,55 = 82,5 \text{ кгс} = 825 \text{ Н.}$$

$$\text{Позиция 4. Для резца 8} - P_z = 90 \cdot 0,55 = 55 \text{ кгс} = 550 \text{ Н;}$$

$$\text{для резца 9} - P_z = 60 \cdot 23 \cdot 0,55 = 759 \text{ кгс} = 7590 \text{ Н.}$$

$$\text{Позиция 5. Для резцов 10 и 11: } P_z = 80 \cdot 0,55 = 44 \text{ кгс} = 440 \text{ Н.}$$

Позиция 6. Величина силы резания для резцов 12 и 13 осталась без изменения.

4. Уточняем мощность резания на каждой позиции.

$$\text{Позиция 3. Для резца 4} - N_{рез} = \frac{55 \cdot 33}{60 \cdot 102} = 0,3 \text{ кВт;}$$

$$\text{для резца 5} - N_{\text{рез}} = \frac{137,5 \cdot 32}{60 \cdot 102} = 0,7 \text{ кВт};$$

$$\text{для резца 6} - N_{\text{рез}} = \frac{82,5 \cdot 28}{60 \cdot 102} = 0,4 \text{ кВт};$$

$$\text{для резца 7} - N_{\text{рез}} = \frac{82,5 \cdot 69}{60 \cdot 102} = 0,9 \text{ кВт}.$$

Суммарная мощность резцов:

$$N_{\text{рез}} = \sum_{i=1}^n N_{\text{рез}i} = 0,3 + 0,7 + 0,4 + 0,9 = 2,3 \text{ кВт}.$$

$$\text{Позиция 4. Для резца 8} - N_{\text{рез}} = \frac{49,5 \cdot 18,3}{60 \cdot 102} = 0,2 \text{ кВт};$$

$$\text{для резца 9} - N_{\text{рез}} = \frac{759 \cdot 37,4}{60 \cdot 102} = 4,6 \text{ кВт}.$$

Суммарная мощность резцов: $N_{\text{рез}} = 0,2 + 4,6 = 4,8 \text{ кВт}.$

$$\text{Позиция 5. Для резца 10} - N_{\text{рез}} = \frac{44 \cdot 44}{60 \cdot 102} = 0,3 \text{ кВт};$$

$$\text{для резца 11} - N_{\text{рез}} = \frac{44 \cdot 43}{60 \cdot 102} = 0,3 \text{ кВт}.$$

Суммарная мощность резцов: $N_{\text{рез}} = 0,3 + 0,3 = 0,6 \text{ кВт}.$

$$\text{Позиция 6. Для резца 12} - N_{\text{рез}} = \frac{8,25 \cdot 58}{60 \cdot 102} = 0,08 \text{ кВт};$$

$$\text{для резца 13} - N_{\text{рез}} = \frac{8,25 \cdot 56}{60 \cdot 102} = 0,07 \text{ кВт}.$$

Суммарная мощность резцов: $N_{\text{рез}} = 0,08 + 0,07 = 0,15 \text{ кВт}.$

5. Уточняем основное технологическое время, при этом учитываем, что время обработки на не лимитирующих позициях не должно превышать времени обработки на лимитирующей позиции.

$$\text{Позиция 3} - T_{03} = \frac{29}{83 \cdot 0,34} = 1,02 \text{ мин}.$$

$$\text{Позиция 4} - T_{04} = \frac{7}{45,5 \cdot 0,17} = 0,9 \text{ мин}.$$

$$\text{Позиция 5} - T_{05} = \frac{26}{108 \cdot 0,24} = 1,0 \text{ мин}.$$

$$\text{Позиция 6} - T_{06} = \frac{26}{143 \cdot 0,17} = 1,06 \text{ мин}.$$

Перечень формул для расчёта основного времени

1. Токарная обработка

$$T_0 = \frac{L}{v_s} = \frac{l + l_1}{n_3 \cdot S_0},$$

где l – длина обрабатываемой поверхности, мм; l_1 – врезание и перебег инструмента, мм;

n_3 – частота вращения заготовки, об/мин;

S_0 – подача на оборот, мм/об.

2. Строгание

$$T_0 = \frac{B + l_1}{K \cdot S},$$

где B – ширина обрабатываемой поверхности, мм;

K – число двойных ходов в минуту, дв.ход/мин;

S – подача на двойной ход, мм/дв.ход.

3. Сверление, рассверливание, зенкерование и развертывание

$$T_0 = \frac{l + l_1}{n \cdot S_0},$$

где n – частота вращения инструмента, об/мин.

4. Фрезерование

$$T_0 = \frac{l + l_1}{S_{\text{мин}}},$$

где $S_{\text{мин}}$ – минутная подача (скорость движения подачи), мм/мин.

5. Протягивание

$$T_0 = \left(\frac{l_{\text{пр}} + l + l_{\text{доп}}}{1000 \cdot v} \right) \cdot K_0,$$

где $l_{\text{пр}}$ – длина пробежки, мм; $l_{\text{доп}}$ – дополнительная длина (5 – 10 мм);

v – скорость резания мм/мин;

K_0 – коэффициент, учитывающий обратный ход станка

($K_0=1,14-1,5$).

В случае, если длина пробежки неизвестна

$$T_0 = \frac{h \cdot l \cdot K_0 \cdot \eta}{1000 \cdot v \cdot S_z \cdot z},$$

где h – припуск, мм;

η – коэффициент, учитывающий длину калибрующей части

($\eta = 1,17-1,25$);

S_z – подача на зуб, мм;

z – число зубьев протяжки, находящихся одновременно в работе.

6. Нарезание резьбы

резцом, метчиком, планкой

$$T_0 = \left(\frac{1+l_1}{S \cdot n_3} + \frac{1+l_1}{S \cdot n_{\text{в.к.}}} \right) \cdot i,$$

где S – шаг нарезаемой резьбы, мм;

$n_{\text{в.к.}}$ – частота вращения заготовки при обработке резцом (число применяемых плашек или метчиков)

$$T_0 = \frac{1+l_1}{S} \cdot \frac{\pi \cdot d}{S_{\text{мин}} \cdot \cos \alpha} \cdot i,$$

где d – диаметр резьбы, мм;

$S_{\text{мин}}$ – минутная подача фрезы, мм/мин;

α – угол наклона витков резьбы, град;

групповой резьбовой фрезой

$$T_0 = \frac{1,2 \cdot \pi \cdot d}{S_{\text{мин}}}$$

7. Шлифование резьбы:

одноточным кругом

$$T_0 = \frac{1+l_1}{S \cdot n_3} \left(\frac{h}{t} + i \right),$$

где n_3 – частота вращения заготовки, об/мин;

h – припуск на шлифование по среднему диаметру резьбы, мм;

t – поперечная подача, мм/об;

i – число проходов при выхаживании;

многоточным кругом

$$T_0 = \frac{\pi \cdot d}{1000 \cdot v_3} \cdot n,$$

где v_3 – скорость резания заготовки, м/мин;

n – число оборотов заготовки за время шлифования резьбы

($n = 1-4$ в зависимости от шага резьбы).

8. Нарезание зубчатых колёс:

дисковой модульной фрезой зубчатых колёс с прямым зубом

$$T_0 = \frac{B+l_1}{S_{\text{мин}}} \cdot z \cdot i,$$

где B – ширина зубчатого колеса (венца), мм;

z – число зубьев вырезаемого зубчатого колеса;

i – число проходов;

дисковой модульной фрезой зубчатых колёс с косым зубом

$$T_0 = \frac{B/\cos \beta + l_1}{S_{\text{мин}}} \cdot z \cdot i,$$

где β – угол наклона зуба нарезаемого зубчатого колеса;

червячной модульной фрезой зубчатых колёс с прямым зубом

$$T_0 = \frac{(B+l_1) \cdot z}{n_{\phi} \cdot S_{\phi} \cdot K},$$

где n_{ϕ} – частота вращения фрезы, об/мин;

S_{ϕ} – подача фрезы на оборот заготовки, мм/об;

K – число заходов фрезы;

червячной модульной фрезой с косым зубом

$$T_0 = \frac{(B/\cos \beta + l_1) \cdot z}{n_{\phi} \cdot S_{\phi} \cdot K},$$

дисковой модульной фрезой червячных колёс

$$T_0 = \frac{(2,2 \cdot m + l_1) \cdot z}{S_{\text{мин}}},$$

где m – модуль нарезаемого колеса; $l_1 = 0,55 \cdot m$;

червячной модульной фрезой червячных колёс методом радиальной подачи

$$T_0 = \frac{(2,2m + l_1) \cdot z}{n_{\phi} \cdot S_p \cdot K} = \frac{3 \cdot m \cdot z}{n_{\phi} \cdot S_p \cdot K},$$

где S_p – радиальная подача фрезы на оборот заготовки, мм/об;

червячной модульной фрезой червячных колёс методом тангенциальной подачи

$$T_0 = \frac{L \cdot z}{n_{\phi} \cdot S_t \cdot K},$$

где L – полная длина пути фрезы в тангенциальном направлении, мм –
 $L = 2,94 \cdot m \cdot \sqrt{z}$;

S_t – тангенциальная подача фрезы на оборот заготовки, мм/об;

дисковым зуборезным долбяком

$$T_0 = \frac{\pi \cdot m \cdot z}{S_{\text{сп}} \cdot K_d} + \frac{2,2 \cdot m}{S_{\text{сп}} \cdot K_d},$$

где $S_{\text{сп}}$ – круговая подача, мм/дв.ход;

$S_{\text{вр}}$ – подача на врезание ($S_{\text{вр}} = (0,1-0,15) S_{\text{сп}}$), мм/дв.ход;

K_d – число двойных ходов долбяка, дв.ход/мин.

9. Шлифование:

круглос наружное с продольной подачей

$$T_0 = \frac{L \cdot h \cdot K_1}{S_d \cdot B \cdot n_3 \cdot t},$$

где L – длина хода шлифовального круга, мм;
 h – припуски на шлифование, мм;
 S_d – долевая подача, мм;
 B – ширина шлифовального круга, мм;
 t – глубина резания, мм;
 K_1 – коэффициент, учитывающий время на выхаживание;

круглое наружное с поперечной подачей

$$T_0 = \frac{h \cdot K_1}{n_3 \cdot t},$$

наружное круглое бесцентровое шлифование с продольной подачей

$$T_0 = \frac{L + B}{S_{\text{мин}}} i \cdot K_1,$$

$$S_{\text{мин}} = \pi \cdot D_{\text{в.к.}} \cdot n_{\text{в.к.}} \cdot \sin \alpha \cdot \eta,$$

где $D_{\text{в.к.}}$ – диаметр ведущего круга, мм;
 $n_{\text{в.к.}}$ – частота вращения ведущего круга, об/мин;
 α – угол наклона оси ведущего круга, град;
 η – коэффициент проскальзывания ($\eta = 0,85 - 0,9$);

внутреннее шлифование

$$T_0 = \frac{2L \cdot h \cdot K_1}{S_d \cdot B \cdot n_3 \cdot t},$$

Плоское шлифование периферией круга на станках с прямоугольным столом

$$T_0 = \frac{L \cdot H \cdot h \cdot K_1}{S_d \cdot B \cdot v_s \cdot t},$$

где H – ширина шлифования ($H = v + B + 5$, мм, v – ширина шлифуемой заготовки, мм);
 v_s – скорость подачи стола, мм/мин.

Учебное издание

КАРЕВ Евгений Алексеевич
ТАБАКОВ Владимир Петрович
ЕРЁМИН Николай Викторович

**АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЁТА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ
ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК**

Учебное пособие

Подписано в печать 20.05.2003.
Формат 60×84/16. Бумага писчая. Печать трафаретная.
Усл. печ. л. 6,05. Уч.-изд. л. 4,50. Тираж 300 экз.
Заказ 33/4

Ульяновский государственный технический университет
432027, Ульяновск, Сев. Венец, 32.
Типография УлГТУ, 432027, Ульяновск, Сев. Венец, 32.