



Министерство образования и науки Российской Федерации
Калужский филиал федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ *Машиностроение*

КАФЕДРА *М1-КФ «Машиностроительные технологии»*

РАСЧЕТНО - ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к курсовому проекту на тему:

Проектирование станочных приспособлений

по дисциплине *Основы конструирования приспособлений*

Студент гр. _____ (_____) (Ф.И.О.)
(подпись)

Руководитель курсового проекта _____ (_____) (Ф.И.О.)
(подпись)

Оценка руководителя _____ баллов _____
30-50 (дата)

Оценка защиты _____ баллов _____
30-50 (дата)

Оценка проекта _____ баллов _____
(оценка по пятибалльной шкале)

Комиссия: _____ (_____) (Ф.И.О.)
(подпись)
_____ (_____) (Ф.И.О.)
(подпись)
_____ (_____) (Ф.И.О.)
(подпись)

Калуга, 20 ____

Калужский филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой М1-КФ
_____(_____)_____
« ____ » _____ сентября 20 ____ г.

З А Д А Н И Е
на выполнение курсового проекта

по дисциплине Основы конструирования приспособлений

Студент _____
(фамилия, инициалы, индекс группы)

Руководитель _____
(фамилия, инициалы)

График выполнения проекта: 25% к 4 нед., 50% к 7 нед., 75% к 10 нед., 100% к 14 нед.

1. Тема курсового проекта

Проектирование станочных приспособлений

2. Техническое задание

3. Оформление курсового проекта

3.1. Расчетно-пояснительная записка на _____ листах формата А4.

3.2. Перечень графического материала КП (плакаты, схемы, чертежи и т.п.) _____

Дата выдачи задания « ____ » _____ сентября 20 ____ г.

Руководитель курсового проекта _____ / _____ /

Задание получил _____ / _____ / « ____ » _____ сентября 20 ____ г.

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание	3
1. Анализ исходных данных	4
1.1. Служебное назначение детали	4
1.2. Анализ технических условий на изготовление детали	4
1.3. Характеристика материала заготовки	5
1.4. Анализ технологичности конструкции детали	6
2. Проектирование операций механической обработки детали	7
2.1. Проектирование сверлильной операции с ЧПУ	7
2.2. Проектирование фрезерной операции	27
3. Расчёт и проектирование станочных приспособлений	35
3.1. Приспособление для сверлильной операции с ЧПУ	35
3.2. Приспособление для фрезерной операции	42
Список использованных источников	47

1 АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

1.1 Служебное назначение детали

Обрабатываемая деталь — корпус барабана. Детали типа «корпус» предназначены для крепления к ним других деталей и сборочных единиц изделия. Корпусные детали обеспечивают точность и постоянство относительного расположения прикрепляемых к ней деталей, поэтому должны обладать достаточной жёсткостью. Обрабатываемая деталь является вращающейся.

Наружная поверхность детали — призма, основанием которой является правильный шестиугольник с диаметром вписанной окружности 620 мм. С обеих торцов призмы деталь имеет ряд выступов, образующих цилиндрические и конические поверхности. На каждой грани шестигранника расположено по четыре штифтовых отверстия $\varnothing 20$ H7 мм и по восемь резьбовых M12.

Ступица детали имеет отверстие $\varnothing 125$ H7 мм, предназначенное для установки детали на вал. На внешней части ступицы расположен паз. Ступица соединена с наружной частью детали полотном. На нём расположены 6 рёбер, служащих для повышения жёсткости детали. В перемычках между спицами выполнены два такелажных отверстия $\varnothing 100$ мм.

Кроме перечисленных, деталь имеет ряд резьбовых и штифтовых отверстий, необходимых для крепления к корпусу других деталей изделия.

Заготовка детали — отливка из серого чугуна СЧ 21-40 (ГОСТ 1412-85).

1.2 Анализ технических условий на изготовление детали

Наиболее точные цилиндрические поверхности детали — отверстие в ступице $\varnothing 125$ H7 мм, 6 отверстий $\varnothing 45$ H7 мм, 2 отверстия $\varnothing 25$ H7 мм, 26 отверстий $\varnothing 20$ H7 мм и 6 отверстий $\varnothing 12$ H7 мм. Необходимость их высокой точности обусловлена тем, они являются сопрягаемыми. Для менее точных поверхностей заданы их предельные отклонения: $\varnothing 600_{-0,2}$ мм и

Ø590_{-0,5} мм. Заданные предельные отклонения удовлетворяют требованиям, соответственно, 10 и 12 квалитетов. Размеры с неуказанными предельными отклонениями выполняются по 14 квалитету.

Точность взаимного расположения поверхностей детали задана допусками параллельности торцовых поверхностей детали относительно друг друга и перпендикулярности наружных граней корпуса относительно торца, которые составляют 0,03 мм, и допуском радиального биения наружной цилиндрической поверхности Ø600_{-0,2} мм относительно посадочного отверстия ступицы Ø125 H7 мм, который составляет 0,1 мм.

Точность формы задана допусками на плоскостность торца и наружных граней корпуса, который составляет 0,02 мм.

Шероховатость задана значениями Ra 1,25 для посадочного отверстия ступицы Ø125 H7 мм и других сопрягаемых отверстий, Ra 2,5 для плоских поверхностей наружных граней и торцов корпуса и для внутренней цилиндрической поверхности Ø430 мм, и Ra 10 для плоских поверхностей торцов ступицы, наружных цилиндрических поверхностей Ø590_{-0,5} мм и отдельных резьбовых отверстий. Для остальных поверхностей задана шероховатость Rz 630, получаемая без применения механической обработки.

1.3 Характеристика материала заготовки

Материал заготовки — серый чугун СЧ 21-40 (ГОСТ 1412–85). Это чугун с пластинчатым графитом для отливок с временным сопротивлением при растяжении не менее $\sigma_B = 210$ МПа.

Серый чугун — сравнительно дешёвый конструкционный материал. Имеет хорошие литейные и технологические свойства. Из серого чугуна изготавливают массивные литые детали, такие как станины, маховики, крупногабаритные корпуса.

Физические свойства чугуна СЧ 21-40: плотность $\rho = 7100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, линейная усадка $\epsilon = 1,2 \%$, модуль упругости при растяжении $E = 850...1100 \cdot 10^{-5}$ МПа, удельная теплоёмкость при $t = 20...200^\circ\text{C}$ $c = 480 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$, коэффициент

линейного расширения при $t = 20 \dots 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\alpha = 9,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, теплопроводность при $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\lambda = 54 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

Химический состав чугуна СЧ 21-40: массовая доля углерода 3,3...3,5 %, кремния — 1,4...2,4 %, марганца — 0,7...1,0 %, фосфора — не более 0,2 %, серы — не более 1,5 %. Допускается низкое легирование чугуна различными элементами (хромом, никелем, медью, фосфором и другими).

1.4 Анализ технологичности конструкции детали

Большинство конструктивных элементов детали унифицированы.

Точность размеров и шероховатость поверхностей экономически и конструктивно обоснованы.

Физико-химические и механические свойства материала, жёсткость детали, её форма и размеры соответствуют требованиям технологии изготовления, конструкция жёсткая.

Деталь имеет технологические базы, позволяющие обеспечить точность установки, обработки и контроля.

Обработка и контроль точных поверхностей детали не затруднены.

Деталь имеет большое количество глухих точных отверстий, что усложняет обработку.

Шпоночный паз расположен нетехнологично, его обработка затрудняется необходимостью располагать деталь под углом.

Большая масса и габаритные размеры заготовки усложняют транспортировку и установку детали на станке.

Конструкция детали в целом технологична, но имеет ряд элементов, обработка которых затруднена.

2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ

2.1 Проектирование сверлильной операции с ЧПУ

2.1.1 Выбор и характеристика оборудования

Операция выполняется на горизонтальном сверлильно-фрезерно-расточном станке с ЧПУ и АСИ 2206ВМФ4.

Это станок с крестовым поворотным столом, предназначенный для комплексной обработки плоских деталей средних размеров сложной формы. Станок предназначен для многооперационной обработки разнообразных деталей сложной конфигурации из стали, чугуна, цветных и лёгких сплавов. На станке можно производить получистовое и чистовое фрезерование плоскостей, пазов и криволинейных поверхностей различными типами фрез, а также растачивание, сверление, зенкерование, развёртывание отверстий и нарезание резьбы метчиками и резцами по заданной программе. Станок может быть использован в мелкосерийном и серийном производствах различных отраслей промышленности.

Управление станком — от универсальной комплексной системы ЧПУ «Размер-2М-1300», позволяющей производить позиционную и контурную обработку, а также ручную с пульта управления. На станке программируются координатные перемещения стола и шпиндельной головки, скорости этих перемещений, частота вращения шпинделя, выбор и смена инструмента, смена обрабатываемой детали и циклы обработки.

На станке программируются координатные перемещения стола, шпиндельной головки, скорости этих перемещений, режимы обработки, выбор, смена и коррекция инструмента, циклы обработки.

Станок может быть оснащен устройством автоматической загрузки и выгрузки изделий, предназначенным для установки заготовки вне станка на сменные столы (паллеты) и последующей автоматической загрузки столов на станок, а также их выгрузки со станка после окончания обработки.

Использование сменных столов устройства позволяет совместить загрузку заготовок или выгрузку обработанных изделий с работой станка, что существенно сокращает холостые простои, повышает эффективность его использования и производительность, при этом исключается последняя ручная операция — установка и снятие деталей со станка.

Основные характеристики станка:

- Класс точности станка В по ГОСТ 8-82
- Размеры рабочей поверхности стола 630 × 800 мм
- Расстояние от торца шпинделя до центра стола 195...825 мм
- Наибольшее продольное перемещение стола (X) 800 мм
- Наибольшее поперечное перемещение стола (Z) 630 мм
- Наибольшее вертикальное перемещение шпиндельной головки (Y) 630 мм
- Наибольшая нагрузка на стол 800 кг
- Ёмкость инструментального магазина 30 шт
- Наибольший диаметр устанавливаемого инструмента 200 мм
- Наибольшая длина инструмента, устанавливаемого в шпинделе станка 400 мм
- Частота вращения шпинделя 10...3500 $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$
- Электродвигатель привода шпинделя 15 кВт
- Масса станка 12 т

На рис. 1 приведены габариты рабочего пространства сверлильно-фрезерно-расточного станка 2206ВМФ4 (а) и его посадочные и присоединительные размеры (б, в, г).

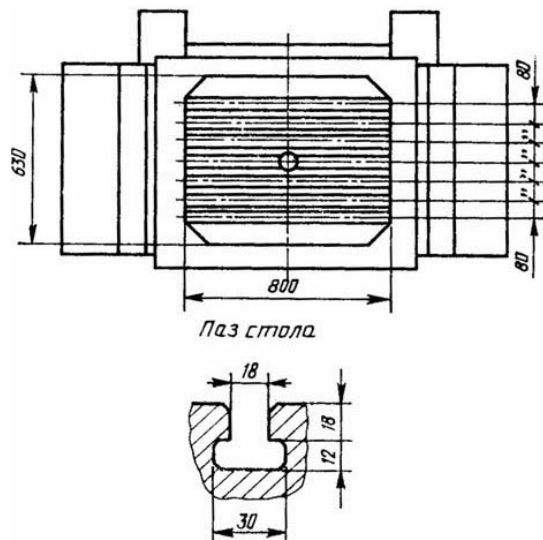
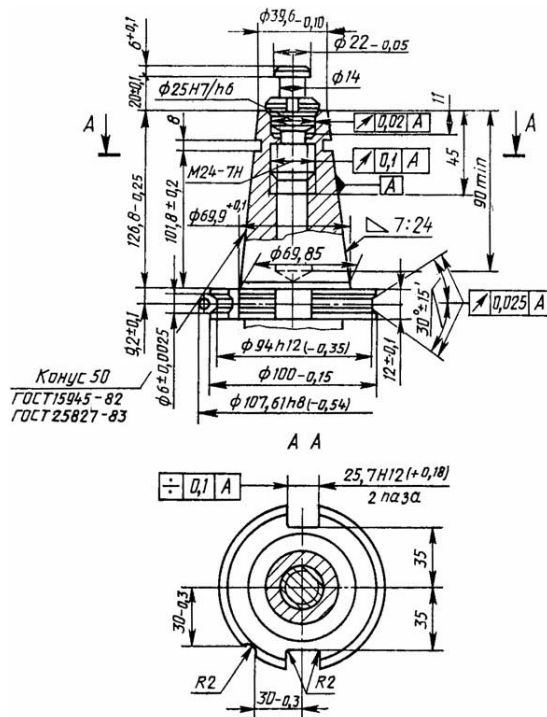
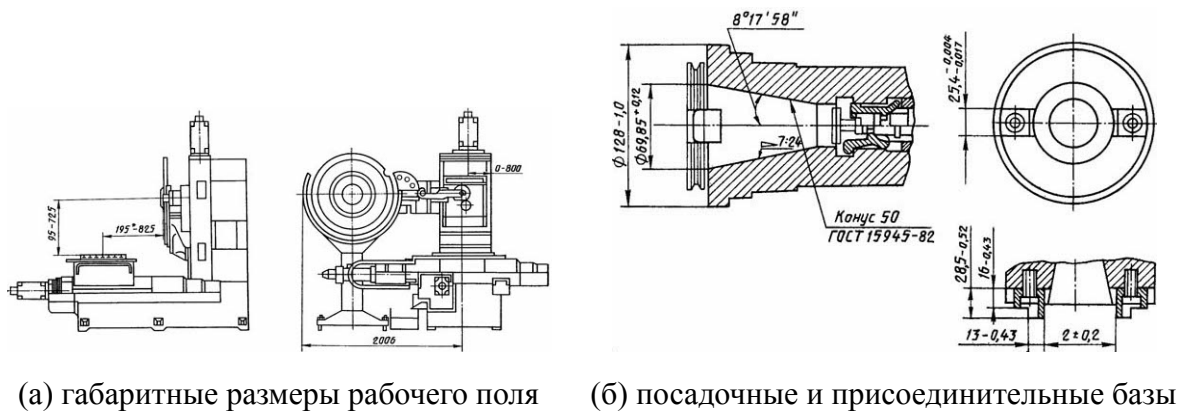


Рисунок 1 — Посадочные и присоединительные размеры станка 2206ВМФ4

2.1.2 Выбор и обоснование схемы базирования

Базирование осуществляется по схеме, представленной на рис. 2

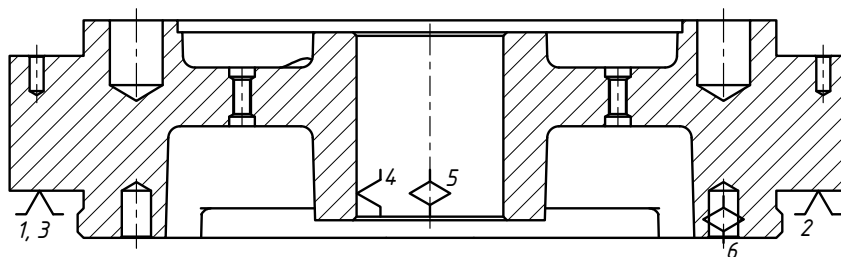


Рисунок 2 — Схема базирования на операции 040

1, 2, 3 — установочная база,

4, 5 — направляющая база,

6 — опорная база

2.1.3 Выбор и обоснование последовательности и содержания переходов

На операции 040 осуществляется обработка отверстий, расположенных на гранях наружной поверхности детали. Деталь установлена в специальном приспособлении, поворот относительно своей оси она осуществляет за счёт делительного движения, совершаемого поворотным столом станка. На каждой позиции последовательно обрабатываются все отверстия, расположенные на грани, обращённой к шпинделю. Обработка 4 отверстий $\varnothing 20$ Н7 мм осуществляется за три перехода последовательным сверлением, зенкерованием и развёртыванием. Обработка 8 резьбовых отверстий М12-7Н производится сверлением и нарезанием резьбы метчиком. Последним переходом снимаются фаски на всех отверстиях. После этого стол станка поворачивается и обрабатывается следующая грань детали. Последовательность обработки отверстий на каждой грани приведена в табл. 1

Таблица 1 — Содержание основных переходов операции 040

Содержание переходов
<p>По программе:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Сверлить 4 отверстия (35) $\varnothing 18,5^{+0,130}$ на глубину 35 – Сверлить 8 отверстий (37) $\varnothing 10,2^{+0,36}$ на глубину 25 – Зенкеровать 4 отверстия (35) $\varnothing 19,7^{+0,052}$ на глубину 30 – Развернуть 4 отверстия (35) $\varnothing 20^{+0,025}$ на глубину 30 – Нарезать резьбу (39) в 8 отверстиях М12-7Н на глубину 20 – Зенковать 12 фасок (36) и (38), выдерживая размер $1,6 \times 45^\circ$

2.1.4 Выбор и характеристика режущего инструмента

Для сверления отверстий (35) выбрано сверло $\varnothing 18,5$ 2301-3619 ГОСТ 10903-77. Для сверления отверстий под резьбу (37) выбрано сверло $\varnothing 10,2$ 2301-4204 ГОСТ 22736-77. Для зенкерования отверстий (35) выбран зенкер $\varnothing 19,7$ 2320-0529 ГОСТ 12489-71. Для развёртывания отверстий (35) выбрана развёртка $\varnothing 20$ 2363-3463 ГОСТ 1672-80. Для нарезания резьбы (39) выбран метчик М12 2621-1515 ГОСТ 3266-81. Для зенковки фасок (36) и (38) выбрана зенковка 2353-0123 ГОСТ 14953-80.

Материал режущей части всех инструментов — быстрорежущая сталь Р6М5 [7, прил. 2].

2.1.5 Расчёт режимов и сил резания

Расчёт ведётся табличным методом по методике, приведённой в [7].

Т01 Сверление $\varnothing 18,5$

Глубина резания определяется по формуле:

$$t = \frac{D}{2} = \frac{18,5}{2} = 9,25 \text{ мм}$$

Табличное значение осевой подачи корректируется по формуле:

$$S_o = S_{oT} K_{S_M}$$

$$S_{oT} = 0,26 \frac{\text{мм}}{\text{об}} [7, \text{ карта } 46]$$

$$K_{S_M} = 1,0 [7, \text{ карта } 53]$$

Табличное значение скорости резания корректируется по формуле:

$$V = V_T K_{V_M} K_{V_3} K_{V_ж} K_{V_T} K_{V_W} K_{V_{и}} K_{V_I} K_{V_{II}}$$

$$V_T = 23,8 \frac{\text{м}}{\text{мин}} [7, \text{ карта } 46]$$

$$K_{V_M} = K_{V_3} = K_{V_ж} = K_{V_T} = K_{V_W} = K_{V_{и}} = K_{V_I} = K_{V_{II}} = 1,0 [7, \text{ карта } 53]$$

$$\begin{aligned} S_o &= 0,26 \cdot 1,0 = 0,26 \frac{\text{мм}}{\text{об}} \\ V &= 23,8 \cdot 1,0 = 23,8 \frac{\text{м}}{\text{мин}} \\ n &= \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 23,8}{\pi \cdot 18,5} = 409,5 \frac{\text{об}}{\text{мин}} \\ V_s &= S_o n = 0,26 \cdot 409,5 = 106,5 \frac{\text{мм}}{\text{мин}} \end{aligned}$$

Станок позволяет регулировать обороты шпинделя и подачи бесступенчато. Фактические режимы резания округляют до значений из стандартных рядов предпочтительных чисел в меньшую сторону: $n_{\phi} = 400 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$, $V_{S\phi} = 100 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$; тогда $S_{o\phi} = 0,25 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$.

Фактическая скорость резания:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{\pi \cdot 18,5 \cdot 400}{1000} = 23,3 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Табличное значение мощности резания корректируется по формуле:

$$N = \frac{N_T}{K_{N_M}}$$

$$N_t = 1,36 \text{ кВт} [7, \text{ карта } 46]$$

$$K_{N_M} = 1,0 [7, \text{ карта } 53]$$

$$N = \frac{1,36}{1,0} = 1,36 \text{ кВт}$$

Табличное значение осевой силы резания корректируется по формуле:

$$P = \frac{P_T}{K_{P_M}}$$

$$P_t = 4345 \text{ Н} [7, \text{ карта } 46]$$

$$K_{P_M} = 1,0 [7, \text{ карта } 53]$$

$$P = \frac{4345}{1,0} = 4345 \text{ Н}$$

Основное время обработки одного отверстия рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{L}{nS_o} = \frac{l_{вр} + l + l_{пер}}{V_S}$$

где $l_{вр}$ — длина на врезание, [мм]

l — глубина обработки [мм]

$l_{пер}$ — длина на перебег [мм]

При сверлении глухого отверстия перебег отсутствует, а длина на врезание определяется по формуле:

$$l_{вр} = 1 + \frac{D}{2} \cdot \tan 31^\circ$$

$$l_{вр} = 1 + \frac{18,5}{2} \cdot \tan 31^\circ = 6,6 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{6,6 + 35 + 0}{100} = 0,42 \text{ мин}$$

Т02 Сверление $\varnothing 10,2$

Глубина резания определяется по формуле:

$$t = \frac{D}{2} = \frac{10,2}{2} = 5,1 \text{ мм}$$

Табличное значение осевой подачи корректируется по формуле:

$$S_o = S_{oT} K_{S_M}$$

$$S_{oT} = 0,42 \frac{\text{мм}}{\text{об}} [7, \text{ карта } 46]$$

$$K_{S_M} = 1,0 [7, \text{ карта } 53]$$

Табличное значение скорости резания корректируется по формуле:

$$V = V_T K_{V_M} K_{V_3} K_{V_{ж}} K_{V_T} K_{V_W} K_{V_{и}} K_{V_l} K_{V_{п}}$$

$$V_T = 25,2 \frac{\text{м}}{\text{мин}} [7, \text{ карта } 46]$$

$$K_{V_M} = K_{V_3} = K_{V_{ж}} = K_{V_T} = K_{V_W} = K_{V_{и}} = K_{V_l} = K_{V_{п}} = 1,0 [7, \text{ карта } 53]$$

$$\begin{aligned} S_o &= 0,42 \cdot 1,0 = 0,42 \frac{\text{мм}}{\text{об}} \\ V &= 25,2 \cdot 1,0 = 25,2 \frac{\text{м}}{\text{мин}} \\ n &= \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 25,2}{\pi \cdot 10,2} = 786,4 \frac{\text{об}}{\text{мин}} \\ V_s &= S_o n = 0,42 \cdot 786,4 = 330,3 \frac{\text{мм}}{\text{мин}} \end{aligned}$$

Станок позволяет регулировать обороты шпинделя и подачи бесступенчато. Фактические режимы резания округляют до значений из стандартных рядов предпочтительных чисел в меньшую сторону: $n_{\phi} = 750 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$, $V_{S\phi} = 320 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$; тогда $S_{o\phi} = 0,43 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$.

Фактическая скорость резания:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{\pi \cdot 10,2 \cdot 750}{1000} = 24,0 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Табличное значение мощности резания корректируется по формуле

$$N = \frac{N_T}{K_{N_M}}$$

$$N_t = 1,34 \text{ кВт} [7, \text{ карта } 46]$$

$$K_{N_M} = 1,0 [7, \text{ карта } 53]$$

$$N = \frac{1,34}{1,0} = 1,34 \text{ кВт}$$

Табличное значение осевой силы резания корректируется по формуле:

$$P = \frac{P_T}{K_{P_M}}$$

$$P_t = 3675 \text{ Н} [7, \text{ карта } 46]$$

$$K_{P_M} = 1,0 [7, \text{ карта } 53]$$

$$P = \frac{3675}{1,0} = 3675 \text{ Н}$$

Основное время обработки одного отверстия рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{L}{nS_o} = \frac{l_{вр} + l + l_{пер}}{V_S}$$

где $l_{вр}$ — длина на врезание, [мм]

l — глубина обработки [мм]

$l_{пер}$ — длина на перебег [мм]

При сверлении глухого отверстия перебег отсутствует, а длина на врезание определяется по формуле:

$$l_{вр} = 1 + \frac{D}{2} \cdot \tan 31^\circ$$

$$l_{вр} = 1 + \frac{10,2}{2} \cdot \tan 31^\circ = 4,1 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{4,1 + 25 + 0}{320} = 0,09 \text{ мин}$$

Т03 Зенкерование $\varnothing 19,7$

Глубина резания определяется по формуле:

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{19,7 - 18,5}{2} = 0,6 \text{ мм}$$

Табличное значение осевой подачи корректируется по формуле:

$$S_o = S_{oT} K_{S_M}$$

$$S_{oT} = 0,74 \frac{\text{мм}}{\text{об}} [7, \text{ карта } 48]$$

$$K_{S_M} = 1,0 [7, \text{ карта } 53]$$

Табличное значение скорости резания корректируется по формуле:

$$V = V_T K_{V_M} K_{V_3} K_{V_{\text{ж}}} K_{V_T} K_{V_W} K_{V_{\text{и}}} K_{V_i} K_{V_{\text{п}}}$$

$$V_T = 27,8 \frac{\text{м}}{\text{мин}} [7, \text{ карта } 48]$$

$$K_{V_M} = K_{V_3} = K_{V_{\text{ж}}} = K_{V_T} = K_{V_W} = K_{V_{\text{и}}} = K_{V_{\text{п}}} = 1,0 [7, \text{ карта } 53]$$

$$K_{V_i} = 0,98 [7, \text{ карта } 53]$$

$$S_o = 0,74 \cdot 1,0 = 0,74 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$$

$$V = 27,8 \cdot 1,0 \cdot 0,98 = 27,2 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 27,2}{\pi \cdot 19,7} = 440,2 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$V_s = S_o n = 0,74 \cdot 440,2 = 325,8 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$$

Станок позволяет регулировать обороты шпинделя и подачи бесступенчато. Фактические режимы резания округляют до значений из стандартных рядов предпочтительных чисел в меньшую сторону: $n_{\phi} = 400 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$, $V_{S\phi} = 320 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$; тогда $S_{o\phi} = 0,80 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$.

Фактическая скорость резания:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{\pi \cdot 19,7 \cdot 400}{1000} = 24,8 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Табличное значение мощности резания корректируется по формуле

$$N = N_T \frac{K_{N_i}}{K_{N_M}}$$

$$N_T = 0,91 \text{ кВт} [7, \text{ карта } 48]$$

$$K_{N_M} = 1,0 [7, \text{ карта } 53]$$

$$K_{N_i} = 1,08 \text{ [7, карта 53]}$$

$$N = 1,34 \frac{1,08}{1,0} = 1,45 \text{ кВт}$$

Табличное значение осевой силы резания корректируется по формуле:

$$P = P_T \frac{K_{P_i}}{K_{P_M}}$$

$$P_T = 152 \text{ Н [7, карта 48]}$$

$$K_{P_M} = 1,0 \text{ [7, карта 53]}$$

$$K_{P_i} = 1,1 \text{ [7, карта 53]}$$

$$P = 152 \frac{1,1}{1,0} = 167,2 \text{ Н}$$

Основное время обработки одного отверстия рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{L}{nS_o} = \frac{l_{вр} + l + l_{пер}}{V_S}$$

где $l_{вр}$ — длина на врезание, [мм]

l — глубина обработки [мм]

$l_{пер}$ — длина на перебег [мм]

Для зенкерования принимается длина на врезание 1 мм, а на перебег — 2 мм.

$$t_o = \frac{1 + 30 + 2}{320} = 0,10 \text{ мин}$$

Т04 Развёртывание $\varnothing 20$

Глубина резания определяется по формуле:

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{20 - 19,7}{2} = 0,15 \text{ мм}$$

Табличное значение осевой подачи корректируется по формуле:

$$S_o = S_{oT} K_{S_M}$$

$$S_{oT} = 0,76 \frac{\text{мм}}{\text{об}} [7, \text{ карта } 49]$$

$$K_{S_M} = 1,0 [7, \text{ карта } 53]$$

Табличное значение скорости резания корректируется по формуле:

$$V = V_T K_{V_M} K_{V_3} K_{V_{ж}} K_{V_T} K_{V_W} K_{V_{и}} K_{V_i} K_{V_{п}}$$

$$V_T = 15,0 \frac{\text{м}}{\text{мин}} [7, \text{ карта } 49]$$

$$K_{V_M} = K_{V_3} = K_{V_{ж}} = K_{V_T} = K_{V_W} = K_{V_{и}} = K_{V_{п}} = 1,0 [7, \text{ карта } 53]$$

$$K_{V_i} = 0,84 [7, \text{ карта } 53]$$

$$S_o = 0,76 \cdot 1,0 = 0,76 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$$

$$V = 15 \cdot 1,0 \cdot 0,84 = 12,6 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 12,6}{\pi \cdot 20} = 200,5 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$V_s = S_o n = 0,76 \cdot 200,5 = 152,4 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$$

Станок позволяет регулировать обороты шпинделя и подачи бесступенчато. Фактические режимы резания округляют до значений из стандартных рядов предпочтительных чисел в меньшую сторону: $n_{\phi} = 200 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$, $V_{S\phi} = 150 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$; тогда $S_{o\phi} = 0,75 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$.

Фактическая скорость резания:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{\pi \cdot 20 \cdot 200}{1000} = 12,5 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Табличное значение мощности резания корректируется по формуле

$$N = N_T \frac{K_{N_i}}{K_{N_M}}$$

$$N_t = 0,39 \text{ кВт} [7, \text{ карта } 49]$$

$$K_{N_M} = 1,0 [7, \text{ карта } 53]$$

$$K_{N_i} = 1,92 [7, \text{ карта } 53]$$

$$N = 0,39 \frac{1,92}{1,0} = 0,75 \text{ кВт}$$

Табличное значение осевой силы резания корректируется по формуле:

$$P = P_T \frac{K_{P_i}}{K_{P_M}}$$

$$P_T = 19 \text{ Н [7, карта 49]}$$

$$K_{P_M} = 1,0 \text{ [7, карта 53]}$$

$$K_{P_i} = 2,4 \text{ [7, карта 53]}$$

$$P = 19 \frac{2,4}{1,0} = 45,6 \text{ Н}$$

Основное время обработки одного отверстия рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{L}{nS_o} = \frac{l_{\text{вр}} + l + l_{\text{пер}}}{V_S}$$

где $l_{\text{вр}}$ — длина на врезание, [мм]

l — глубина обработки [мм]

$l_{\text{пер}}$ — длина на перебег [мм]

Для развёртывания принимается длина на врезание 1 мм, а на перебег — 2 мм.

$$t_o = \frac{1 + 30 + 2}{150} = 0,22 \text{ мин}$$

T05 Нарезание резьбы M12-7H

Подача при нарезании резьбы равна шагу:

$$S_o = 1,75 \text{ мм}$$

Табличное значение скорости резания корректируется по формуле:

$$V = V_T K_{V_M} K_{V_K}$$

$$V_T = 7,4 \frac{\text{м}}{\text{мин}} \text{ [7, карта 50]}$$

$$K_{V_M} = K_{V_K} = 1,0 \text{ [7, карта 53]}$$

$$V = 7,4 \cdot 1,0 = 7,4 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 7,4}{\pi \cdot 12} = 196,3 \frac{\text{об}}{\text{мин}} =$$

Станок позволяет регулировать обороты шпинделя и подачи бесступенчато. Фактические режимы резания округляют до значений из стандартных рядов предпочтительных чисел в меньшую сторону: $n_{\phi} = 180 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$, $S_{o\phi} = 1,75 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$.

Фактическая скорость резания:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{\pi \cdot 12 \cdot 180}{1000} = 6,8 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Табличное значение мощности резания корректируется по формуле

$$N = \frac{N_t}{K_{N_m}}$$

$$N_t = 0,32 \text{ кВт} [7, \text{ карта } 50]$$

$$K_{N_m} = 1,0 [7, \text{ карта } 53]$$

$$N = \frac{0,32}{1,0} = 0,32 \text{ кВт}$$

Табличное значение осевой силы резания корректируется по формуле:

$$P = \frac{P_t}{K_{P_m}}$$

$$P_t = 41 \text{ Н} [7, \text{ карта } 50]$$

$$K_{P_m} = 1,0 [7, \text{ карта } 53]$$

$$P = \frac{41}{1,0} = 41 \text{ Н}$$

Табличное значение крутящего момента корректируется по формуле:

$$M_{\text{кр}} = \frac{M_{\text{кр}}}{K_{M_m}}$$

$$M_{\text{кр}} = 1,9 \text{ Н}\cdot\text{м} [7, \text{ карта } 50]$$

$$K_{M_M} = 1,0 [7, \text{ карта } 53]$$

$$M_{\text{кр}} = \frac{1,9}{1,0} = 1,9 \text{ Н}$$

Основное время обработки одного отверстия рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{L}{n_{\text{р. х.}} S_o} + \frac{L}{n_{\text{х. х.}} S_o}$$

$$L = l_{\text{вр}} + l + l_{\text{пер}}$$

где $n_{\text{р. х.}}$ — частота вращения шпинделя на рабочем ходу, $\left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$

$n_{\text{х. х.}}$ — частота вращения шпинделя на холостом ходу, $\left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$

$l_{\text{вр}}$ — длина на врезание, [мм]

l — глубина обработки [мм]

$l_{\text{пер}}$ — длина на перебег [мм]

Для нарезания резьбы принимается длина на врезание 1 мм, на перебег — 2 мм. Принимается $n_{\text{х. х.}} = 1,75 n_{\text{р. х.}}$

$$n_{\text{х. х.}} = 1,75 \cdot 180 = 315 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$L = 1 + 20 + 2 = 23 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{23}{180 \cdot 1,75} + \frac{23}{315 \cdot 1,75} = 0,15 \text{ мин}$$

Т06 Зенкование

Глубина резания при зенковании фаски равна ширине фаски:

$$t = 1,6 \text{ мм}$$

Табличное значение осевой подачи корректируется по формуле:

$$S_o = S_{oT} K_{S_M}$$

$$S_{oT} = 0,17 \frac{\text{мм}}{\text{об}} [7, \text{ карта } 51]$$

$$K_{S_M} = 1,0 [7, \text{ карта } 53]$$

Табличное значение скорости резания корректируется по формуле:

$$V = V_T K_{V_M} K_{V_3} K_{V_{ж}} K_{V_T} K_{V_W} K_{V_{и}} K_{V_{п}}$$

$$V_T = 20 \frac{\text{м}}{\text{мин}} [7, \text{карта } 51]$$

$$K_{V_M} = K_{V_3} = K_{V_{ж}} = K_{V_T} = K_{V_W} = K_{V_{и}} = K_{V_{п}} = 1,0 [7, \text{карта } 53]$$

$$S_o = 0,17 \cdot 1,0 = 0,17 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$$

$$V = 20 \cdot 1,0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 20}{\pi \cdot 20} = 318,3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$V_s = S_o n = 0,17 \cdot 318,3 = 54,11 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$$

Станок позволяет регулировать обороты шпинделя и подачи бесступенчато. Фактические режимы резания округляют до значений из стандартных рядов предпочтительных чисел в меньшую сторону: $n_{\phi} = 315 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$, $V_{S\phi} = 50 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$; тогда $S_{o\phi} = 0,16 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$.

Фактическая скорость резания:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{\pi \cdot 20 \cdot 315}{1000} = 19,8 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Табличное значение мощности резания корректируется по формуле:

$$N = \frac{N_T}{K_{N_M}}$$

$$N_T = 0,44 \text{ кВт} [7, \text{карта } 51]$$

$$K_{N_M} = 1,0 [7, \text{карта } 53]$$

$$N = \frac{0,44}{1,0} = 0,44 \text{ кВт}$$

Табличное значение осевой силы резания корректируется по формуле:

$$P = \frac{P_T}{K_{P_M}}$$

$$P_T = 188 \text{ Н} [7, \text{карта } 46]$$

$$K_{P_M} = 1,0 [7, \text{карта } 53]$$

$$P = \frac{188}{1,0} = 188 \text{ Н}$$

Основное время обработки одного отверстия рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{L}{nS_o} = \frac{l_{\text{вр}} + l + l_{\text{пер}}}{V_S}$$

где $l_{\text{вр}}$ — длина на врезание, [мм]

l — глубина обработки [мм]

$l_{\text{пер}}$ — длина на перебег [мм]

При зенковании фасок перебег отсутствует, а длина на врезание определяется по формуле:

$$l_{\text{вр}} = 1 + \frac{D}{2} \cdot \tan 45^\circ$$

$$l_{\text{вр}} = 1 + \frac{20}{2} \cdot \tan 45^\circ = 11 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{11 + 1,6 + 0}{50} = 0,03 \text{ мин}$$

Полученные значения параметров режимов резания сведены в табл. 2.

Таблица 2 — Режимы резания для переходов операции 040

	t , мм	S_o , $\frac{\text{мм}}{\text{об}}$	n , $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$	V , $\frac{\text{м}}{\text{мин}}$	t_o , мин
T01	9,25	0,25	400	23,3	0,42
T02	5,1	0,43	750	24	0,09
T03	0,6	0,80	400	24,8	0,1
T04	0,15	0,75	200	12,6	0,22
T05	—	1,75	180	6,8	0,15
T06	1,6	0,16	315	19,8	0,03

2.1.6 Техническое нормирование

Под техническим нормированием подразумевается определение технически обоснованной нормы времени на выполнение операции.

Штучное время $t_{шт}$ рассчитывается по формуле:

$$t_{шт} = t_o + t_b + t_{обс} \quad (1)$$

где t_o — основное время операции

t_b — вспомогательное время

$t_{обс}$ — время на обслуживание рабочего места

Основное время операции определяется как сумма времени выполнения всех переходов.

$$t_o = N \sum_{i=1}^n k_i t_{oi} \quad (2)$$

где k_i — количество поверхностей, обрабатываемых на переходе i

N — количество позиций обработки

t_{oi} — основное время выполнения перехода i

$$\begin{aligned} t_o &= 6 \cdot (4 t_o^{T01} + 8 t_o^{T02} + 4 t_o^{T03} + 4 t_o^{T04} + 8 t_o^{T05} + 12 t_o^{T06}) = \\ &= 6 \cdot (4 \cdot 0,42 + 8 \cdot 0,09 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,22 + 8 \cdot 0,15 + 12 \cdot 0,03) = \\ &= 31,44 \text{ мин} \end{aligned}$$

Вспомогательное время рассчитывается по формуле:

$$t_b = t_{уст} + t_{в. о.} + t_{изм}^{шт} \quad (3)$$

где $t_{уст}$ — время установки заготовки

$t_{в. о.}$ — время, связанное с выполнением операции

$t_{изм}^{шт}$ — время на измерения, приведённое к одной детали

Время установки рассчитывается по формуле:

$$t_{уст} = a \cdot Q^x \quad (4)$$

где a , x — коэффициенты, зависящие от схемы закрепления

Q — вес заготовки [кг]

Для установки в специальном приспособлении по отверстию с креплением гайкой или винтом ключом $a = 0,26$, $x = 1,0$ [9, прил. 3].

$$t_{\text{уст}} = 0,26 \cdot 253,6^{0,22} = 0,88 \text{ мин}$$

Время, связанное с выполнением операции [9, прил. 4]:

Включение станка: 0,02 мин;

Подвод инструмента: 0,02 мин;

Отвод инструмента: 0,02 мин;

Смена инструмента: 0,04 мин;

Поворот стола: 0,05 мин;

Выключение станка: 0,02 мин.

$$t_{\text{в. о.}} = 0,02 + 6 (2 \cdot 8 + 3 \cdot 4) \cdot 0,02 + 6 (2 + 3) \cdot 0,02 + 6 (2 + 3) \cdot 0,04 + 6 \cdot 0,5 + 0,02 = 5,50 \text{ мин}$$

Время на измерения рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{изм}} = \sum k D_{\text{изм}}^z L_{\text{изм}}^u \quad (5)$$

где k , z , u — коэффициенты, зависящие от способа измерения

$D_{\text{изм}}$, $L_{\text{изм}}$ — размеры контролируемой поверхности [мм]

Для контроля размера отверстий 6...10 качества калибр-пробкой $k = 0,0196$, $u = 0,178$, $z = 0,247$ [9, прил. 5].

$$t_{\text{изм}} = 0,0196 \cdot (24 \cdot 20^{0,178} \cdot 35^{0,247} + 48 \cdot 12^{0,178} \cdot 25^{0,247}) = 5,17 \text{ мин}$$

При выборочном время измерения приводится к одной детали по формуле:

$$t_{\text{изм}}^{\text{шт}} = \frac{k}{100} t_{\text{изм}} \quad (6)$$

где k — число контрольных измерений на 100 деталей [%]

Для сверления отверстий диаметром 10...25 мм $k = 2 \%$.

$$t_{\text{изм}}^{\text{шт}} = \frac{2}{100} \cdot 5,17 = 0,10 \text{ мин}$$

$$t_{\text{в}} = 0,88 + 5,50 + 0,10 = 6,48 \text{ мин}$$

Время обслуживания рабочего места определяется в процентах от суммы основного и вспомогательного:

$$t_{\text{обс}} = \frac{k}{100} (t_{\text{о}} + t_{\text{в}}) \quad (7)$$

где k — коэффициент, зависящий от вида оборудования [%]

Для обработки на горизонтально-фрезерных станках с длиной стола 700...1500 мм $k = 4,5 \%$ [9, прил. 5].

$$t_{\text{обс}} = \frac{4,5}{100} (31,44 + 6,48) = 1,71 \text{ мин}$$

$$t_{\text{шт}} = 31,44 + 6,48 + 1,71 = 39,63 \text{ мин}$$

Штучно-калькуляционное время $t_{\text{шт}}^{\text{к}}$ включает в себя подготовительно-заключительное время на операцию. Его можно приближённо рассчитать по формуле:

$$t_{\text{шт}}^{\text{к}} = \varphi_{\text{к}} t_{\text{шт}} \quad (8)$$

где $\varphi_{\text{к}}$ — коэффициент, зависящий от типа станка

Для обработки на фрезерных станках с ЧПУ $\varphi_{\text{к}} = 1,25$ [9, прил. 7].

$$t_{\text{шт}}^{\text{к}} = 1,25 \cdot 39,63 = 49,54 \text{ мин}$$

2.1.7 Выбор методов и средств операционного контроля

Для контроля размера полученных отверстий выбран калибр-пробка $\varnothing 20$ 8133-0934 Н7 ГОСТ 14810-69. Для контроля резьбовых отверстий выбран резьбовой проходной калибр-пробка М12-7Н ГОСТ 24939-81.

2.2 Проектирование фрезерной операции

2.2.1 Выбор и характеристика оборудования

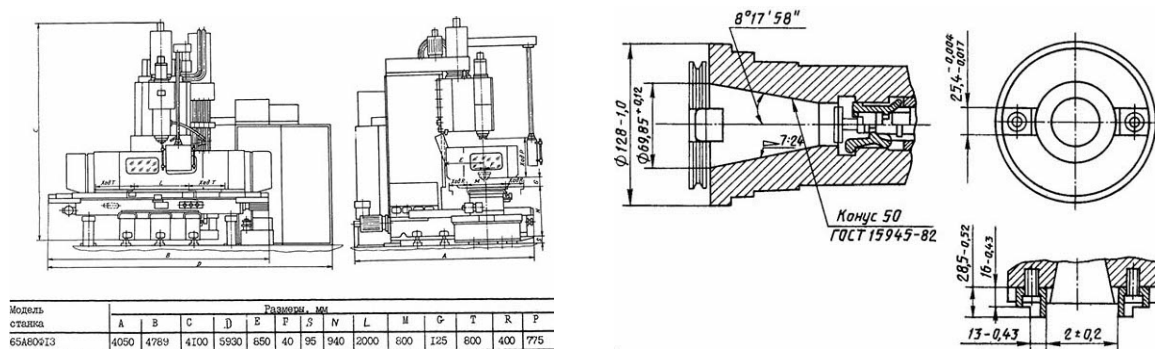
Операция выполняется на бесконсольном вертикально-фрезерном станке 65A80.

Фрезерный станок модели 65A80 с крестовым столом предназначен для скоростного фрезерования крупногабаритных деталей в основном торцовыми фрезами в условиях индивидуального и серийного производства. Станок модели 65A80 бесконсольного типа предназначен для высокопроизводительного фрезерования деталей из чугуна, стали и цветных металлов. На станке выполняется обработка не только сырых, но и закаленных деталей с применением современного инструмента с ножами из эльбора, сверхтвёрдых композиционных материалов из металлокерамики. На станке производится фрезерование, сверление, зенкерование, развертывание и растачивание.

Основные характеристики станка:

- Класс точности Н по ГОСТ 8-82
- Размеры рабочей поверхности стола 2000×800 мм
- Расстояние от торца шпинделя до поверхности стола 125...900 мм
- Расстояние от станины до оси шпинделя 850 мм
- Наибольший продольный ход стола (X) 1600 мм
- Наибольший поперечный ход стола (Y) 800 мм
- Наибольший вертикальный ход шпинделя (Z) 775 мм
- Наибольшая масса обрабатываемой заготовки 6000 кг
- Частота вращения шпинделя $5 \dots 2000 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$, 85 ступеней
- Электродвигатель привода шпинделя 20 кВт
- Масса станка 18,5 т

На рис. 3 приведены габариты рабочего пространства бесконсольного вертикально-фрезерного станка 65A80 (а) и его посадочные и присоединительные размеры (б).



(а) габаритные размеры рабочего поля (б) посадочные и присоединительные базы

Рисунок 3 — Посадочные и присоединительные размеры станка 65A80

2.2.2 Выбор и обоснование схемы базирования

Базирование осуществляется по схеме, представленной на рис. 4

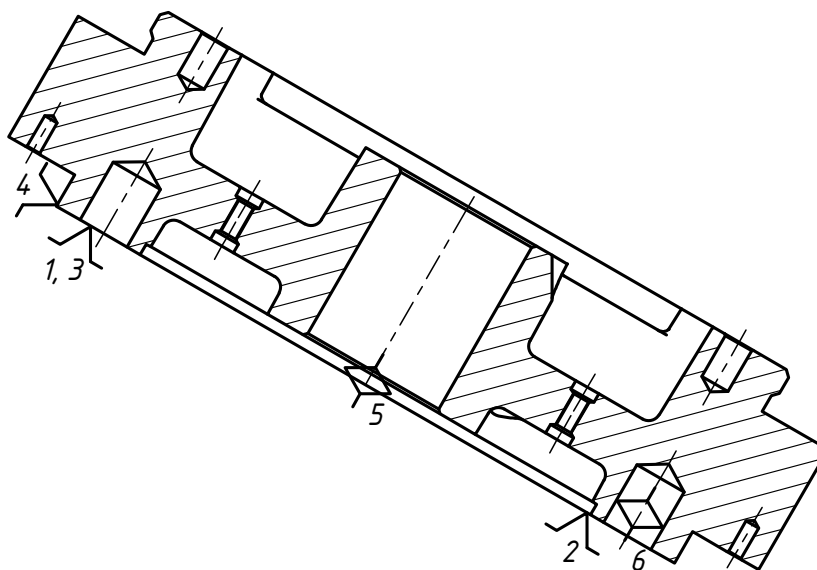


Рисунок 4 — Схема базирования на операции 045

1, 2, 3 — установочная база,

4, 5 — направляющая база,

6 — опорная база

2.2.3 Выбор и обоснование последовательности и содержания переходов

На операции 045 осуществляется обработка паза, расположенных под углом к торцу детали. Деталь установлена в специальном приспособлении под наклоном. Обработка паза производится за один проход концевой фрезой, радиус которой совпадает с радиусом скруглений паза. Последовательность обработки приведена в табл. 3

Таблица 3 — Содержание основных переходов операции 045

Содержание переходов
– Фрезеровать паз (34), выдерживая размер $20 \times 60^\circ$ и ширину 50

2.2.4 Выбор и характеристика режущего инструмента

Для фрезерования паза (34) выбрана концевая фреза 1-25 ГОСТ Р 50572-93. Материал режущей части фрезы — быстрорежущая сталь Р6М5 [7, прил. 4].

2.2.5 Расчёт режимов и сил резания

Расчёт ведётся табличным методом по методике, приведённой в [7].

Обработка происходит за один рабочий ход.

Ширину фрезерования B измеряют в направлении, параллельном оси фрезы, а глубину резания t — в направлении, перпендикулярном оси фрезы.

При выбранной схеме обработки $B_{\max} = 37,5$ мм, $t_{\max} = 15,3$ мм.

Табличное значение подачи корректируют по формуле:

$$S_z = S_{zT} K_{S_M} K_{S_H} K_{S_Z} K_{S_l} \quad (9)$$

$$S_{zT} = 0,09 \frac{\text{мм}}{\text{зуб}} [7, \text{карта } 81]$$

$$K_{S_M} = K_{S_H} = 1,0$$

$$K_{S_z} = 0,60$$

$$K_{S_l} = 0,85 [7, \text{карта } 82]$$

$$S_z = 0,09 \cdot 1,00 \cdot 0,60 \cdot 0,85 = 0,05 \frac{\text{мм}}{\text{зуб}}$$

Полученное значение сравнивают с максимально допустимым при заданной шероховатости поверхности. Для получения шероховатости Ra 6,3 при фрезеровании фрезой $\varnothing 25$ с шестью зубьями $S_z^{\max} = 0,07 \frac{\text{мм}}{\text{зуб}}$. Окончательно выбирается меньшее значение.

Подача при врезании должна быть снижена на 30 %.

Табличное значение скорости резания корректируют по формуле:

$$V = V_T K_{V_o} K_{V_M} K_{V_H} K_{V_T} K_{V_B} K_{V_{\Pi}} K_{V_{ж}} \quad (10)$$

$$V_T = 18 \frac{\text{м}}{\text{мин}} [7, \text{карта } 87]$$

$$K_{V_o} = K_{V_M} = K_{V_H} = K_{V_T} = K_{V_{ж}} = 1,00$$

$$K_{V_B} = 0,93$$

$$K_{V_{\Pi}} = 0,80 [7, \text{карта } 85]$$

$$V = 18 \cdot 1,00 \cdot 0,93 \cdot 0,80 = 13,4 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 13,4}{\pi \cdot 25} = 170,6 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$S_m = S_z z n = 0,05 \cdot 6 \cdot 170,6 = 51,2 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$$

Станок позволяет регулировать обороты шпинделя и подачи бесступенчато. Фактические режимы резания округляют до значений из стандартных рядов предпочтительных чисел в меньшую сторону: $n_{\phi} = 160 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$, $S_{m\phi} = 50 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$.

Фактическая скорость резания:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{\pi \cdot 25 \cdot 160}{1000} = 12,6 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Табличное значение мощности резания корректируют по формуле:

$$N = N_T K_{N_o} K_{N_M} K_{N_H} K_{N_T} K_{N_B} K_{N_{\Pi}} K_{N_{ж}} \quad (11)$$

$$N_T = 1,38 \text{ кВт [7, карта 87]}$$

$$K_{N_o} = K_{N_M} = K_{N_H} = K_{N_T} = K_{N_{ж}} = 1,00$$

$$K_{N_B} = 0,93$$

$$K_{N_{II}} = 0,80 \text{ [7, карта 85]}$$

$$V = 1,38 \cdot 1,00 \cdot 0,93 \cdot 0,80 = 1,03 \text{ кВт}$$

Составляющие силы резания корректируют по формуле:

$$P = P_T K_{P_o} K_{P_M} K_{P_Z} K_{P_B} \quad (12)$$

$$P_{y_T} = 950 \text{ Н}$$

$$P_{z_T} = 2875 \text{ Н [7, карта 88]}$$

$$K_{P_o} = 0,90$$

$$K_{P_M} = 1,00$$

$$K_{P_Z} = 1,50$$

$$K_{P_B} = 2,00 \text{ [7, карта 88]}$$

$$P_{y_T} = 950 \cdot 1,00 \cdot 0,90 \cdot 1,50 \cdot 2,00 = 2565 \text{ Н}$$

$$P_{z_T} = 2875 \cdot 1,00 \cdot 0,90 \cdot 1,50 \cdot 2,00 = 7763 \text{ Н}$$

Основное время обработки паза рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{l}{S_M} + \frac{l_{вр}}{S_M^{вр}}$$

$$S_M^{вр} = S_M - 30 \%$$

где l — длина обработки, $\left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$

$l_{вр}$ — длина движения врезания, $\left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$

$$S_M^{вр} = 0,7 \cdot 50 = 35 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$l = 25 \text{ мм}$$

$$l^{вр} = 15 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{25}{50} + \frac{15}{35} = 0,93 \text{ мин}$$

Полученные значения параметров режимов резания сведены в табл. 4.

Таблица 4 — Режимы резания для переходов операции 045

t , мм	S_m , $\frac{\text{мм}}{\text{мин}}$	n , $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$	V , $\frac{\text{м}}{\text{мин}}$	t_o , мин
15,3	50	160	12,6	0,93

2.2.6 Техническое нормирование

Под техническим нормированием подразумевается определение технически обоснованной нормы времени на выполнение операции.

Штучное время $t_{\text{шт}}$ рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{шт}} = t_o + t_v + t_{\text{обс}}$$

где t_o — основное время операции

t_v — вспомогательное время

$t_{\text{обс}}$ — время на обслуживание рабочего места

Вспомогательное время рассчитывается по формуле:

$$t_v = t_{\text{уст}} + t_{\text{в. о.}} + t_{\text{изм}}^{\text{шт}}$$

где $t_{\text{уст}}$ — время установки заготовки

$t_{\text{в. о.}}$ — время, связанное с выполнением операции

$t_{\text{изм}}^{\text{шт}}$ — время на измерения, приведённое к одной детали

Время установки рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{уст}} = a \cdot Q^x$$

где a , x — коэффициенты, зависящие от схемы закрепления

Q — вес заготовки [кг]

Для установки в специальном приспособлении по отверстию с креплением гайкой или винтом ключом $a = 0,26$, $x = 1,0$ [9, прил. 3].

$$t_{\text{уст}} = 0,26 \cdot 250,8^{0,22} = 0,88 \text{ мин}$$

Время, связанное с выполнением операции [9, прил. 4]:

Включение станка: 0,02 мин;

Подвод инструмента: 0,02 мин;

Отвод инструмента: 0,02 мин;

Выключение станка: 0,02 мин.

$$t_{\text{в. о.}} = 0,02 + 0,02 + 0,02 + 0,02 = 0,08 \text{ мин}$$

Время на измерения рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{изм}} = \sum k D_{\text{изм}}^z L_{\text{изм}}^u$$

где k , z , u — коэффициенты, зависящие от способа измерения

$D_{\text{изм}}$, $L_{\text{изм}}$ — размеры контролируемой поверхности [мм]

Для контроля размера угла фасонным шаблоном простого профиля с точностью 0,15...0,25 мм $k = 0,0113$, $u = 0$, $z = 0,368$ [9, прил. 5].

$$t_{\text{изм}} = 0,0113 \cdot 50^{0,368} = 0,05 \text{ мин}$$

При выборочном время измерения приводится к одной детали по формуле:

$$t_{\text{изм}}^{\text{шт}} = \frac{k}{100} t_{\text{изм}}$$

где k — число контрольных измерений на 100 деталей [%]

Для фрезерования плоскостей $k = 10$ %.

$$t_{\text{изм}}^{\text{шт}} = \frac{10}{100} \cdot 0,05 = 0,01 \text{ мин}$$

$$t_{\text{в}} = 0,88 + 0,08 + 0,01 = 0,97 \text{ мин}$$

Время обслуживания рабочего места определяется в процентах от суммы основного и вспомогательного:

$$t_{\text{обс}} = \frac{k}{100} (t_{\text{о}} + t_{\text{в}})$$

где k — коэффициент, зависящий от вида оборудования [%]

Для обработки на фрезерных станках с длиной стола 700...1500 мм $k = 4,5 \%$ [9, прил. 5].

$$t_{\text{обс}} = \frac{4,5}{100} (0,93 + 0,97) = 0,09 \text{ мин}$$

$$t_{\text{шт}} = 0,93 + 0,97 + 0,09 = 1,99 \text{ мин}$$

Штучно-калькуляционное время $t_{\text{шт}}^{\text{К}}$ включает в себя подготовительно-заключительное время на операцию. Его можно приближённо рассчитать по формуле:

$$t_{\text{шт}}^{\text{К}} = \varphi_{\text{к}} t_{\text{шт}}$$

где $\varphi_{\text{к}}$ — коэффициент, зависящий от типа станка

Для обработки на фрезерных станках $\varphi_{\text{к}} = 1,75$ [9, прил. 7].

$$t_{\text{шт}}^{\text{К}} = 1,75 \cdot 1,99 = 3,48 \text{ мин}$$

2.2.7 Выбор методов и средств операционного контроля

Для контроля выдерживаемого угла выбран фасонный шаблон 60° .

3 РАСЧЁТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

3.1 Приспособление для сверлильной операции с ЧПУ

3.1.1 Характеристика и описание принципа работы приспособления

Спроектированное приспособление — специальное, одноместное, с ручным приводом. Предназначено для установки и закрепления заготовки на поворотном столе станка на сверлильной операции с ЧПУ.

Заготовка устанавливается на установочные элементы, закреплённые на плите приспособления и закрепляется с помощью быстросъёмной шайбы, что позволяет ускорить процесс установки. Усилие закрепления создаётся вручную гайкой М20.

Установочные элементы приспособления — три плоские опоры, цилиндрический палец $\varnothing 125$ и срезанный палец $\varnothing 25$. Технологические базы детали выбраны так, чтобы обеспечить их совпадение с измерительными, в соответствии с принципом совмещения баз.

Приспособление базируется на столе станка при помощи круглых штифтов, один из которых ориентирует приспособление по центральному отверстию стола станка, обеспечивая совпадение оси приспособления с осью вращения стола, а второй — по Т-образному пазу стола, предотвращая поворот приспособления относительно стола. Приспособление закрепляется на столе четырьмя болтами для Т-образных пазов.

3.1.2 Силовой расчёт приспособления

Приложенная сила закрепления должна исключить возможность отрыва, сдвига или проворота заготовки под действием сил резания на протяжении всего процесса обработки. Сущность силового расчёта заключается в том,

чтобы определить силу закрепления, которая обеспечит равновесие заготовки под действием всех приложенных к ней внешних сил: сил резания, закрепления, реакции опор и сил трения.

Для силового расчёта необходимо составить расчётную схему, на которой обозначены внешние силы, действующие на заготовку.

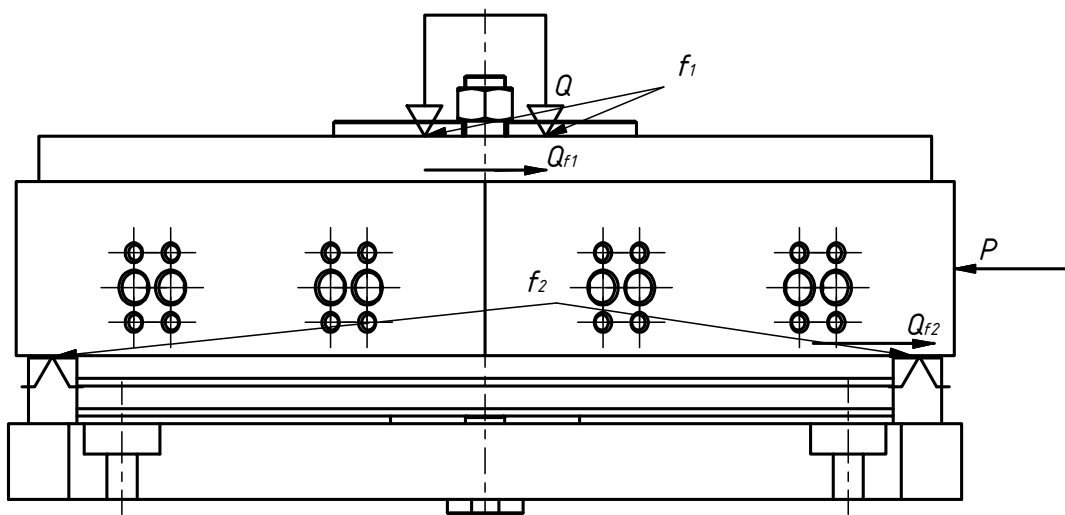


Рисунок 5 — Расчётная схема для силового расчёта приспособления для операции 040

При данной расчётной схеме сила закрепления находится по формуле:

$$Q = \frac{K P}{f_1 + f_2} \quad (13)$$

где K — коэффициент запаса

P — сила резания, возникающая при обработке [Н]

f_1, f_2 — коэффициенты трения между поверхностью заготовки и установочными и зажимными элементами приспособления

Силы резания в процессе обработки изменяются, поэтому для обеспечения надёжности закрепления силу зажима рассчитывают с учётом коэффициента запаса. Он рассчитывается по формуле:

$$K = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 \quad (14)$$

где $K_0 = 1,5$ — гарантированный коэффициент запаса

$K_1 = 1$ — коэффициент, учитывающий увеличение силы резания из-за случайных неровностей на заготовке

$K_2 = 1$ — коэффициент, учитывающий увеличение силы резания из-за затупления инструмента

$K_3 = 1$ — коэффициент, учитывающий увеличение силы резания при прерывистом резании

$K_4 = 1,2$ — коэффициент, учитывающий непостоянство усилия зажима

$K_5 = 1,2$ — коэффициент, учитывающий удобство расположения рукоятки ручного зажимного устройства

$K_6 = 1,1$ — коэффициент, учитывающий неопределённости из-за неровностей места контакта заготовки с опорными элементами, имеющими ограниченную опорную поверхность

Значения коэффициентов выбраны в соответствии с рекомендациями [12, разд. 4.1].

$$K = 1,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,1 = 2,38$$

Принимают коэффициент запаса $K \geq 2,5$.

В соответствии с условиями контакта опор и зажимных элементов приспособления, выбраны коэффициенты трения $f_1 = f_2 = 0,16$ [11, с. 85, табл. 10].

Максимальную силу, действующую в процессе обработки, оказывает сверло $\varnothing 18,5$ на переходе Т01. Это осевая сила $P = 4345$ Н.

$$Q = \frac{2,5 \cdot 4345}{0,16 + 0,16} = 33\,945 \text{ Н}$$

Закрепление осуществляется гайкой. При известной силе закрепления номинальный диаметр винта d вычисляют по формуле:

$$d = 1,4 \sqrt{\frac{Q}{[\sigma]_p}} \quad (15)$$

где $[\sigma]_p$ — допустимое напряжение растяжения материала винта [МПа]

Для Стали 45 $[\sigma]_p = 200$ МПа.

$$d = 1,4 \sqrt{\frac{33945}{200}} = 18,2 \text{ мм}$$

Назначена резьба М20.

Необходимый крутящий момент на гайке рассчитывается по формуле:
[11, с. 87]

$$M_{\text{кр}} = 0,2 Q d_2 \quad (16)$$

где d_2 — средний диаметр резьбы [мм]

Для резьбы М20 $d_2 = 18,376 \text{ мм}$.

$$M_{\text{кр}} = 0,2 \cdot 33945 \cdot 18,379 = 124\,756 \text{ Н}\cdot\text{мм} = 124,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

В приспособлениях с ручным приводом усилие на конце рукоятки при закреплении не должно превышать 160 Н. Необходимая для выполнения этого условия длина рукоятки L определяется по формуле:

$$L = \frac{M_{\text{кр}}}{P_{\text{max}}} \quad (17)$$

$$L = \frac{124,8}{160} = 0,78 \text{ м}$$

3.1.3 Прочностной расчёт приспособления

При проектировании приспособления необходимо выполнить расчёт на прочность «слабого звена» — наиболее нагруженного элемента конструкции.

Сущность прочностного расчёта заключается в определении действующих на «слабое звено» напряжений и сравнении их с допускаемыми.

В проектируемом приспособлении «слабым звеном», наиболее вероятно, окажется шпилька, с помощью которой осуществляется закрепление. Произведён её расчёт на разрыв по внутреннему диаметру резьбы.

Условие прочности можно определить как: [10, форм. 14.6]

$$\sigma = \frac{4 Q}{\pi d_3^2} \leq [\sigma]_p \quad (18)$$

где Q — сила, растягивающая болт [Н]

d_3 — внутренний диаметр резьбы [мм]

$[\sigma]_p$ — допускаемое напряжение [МПа]

Для резьбы М20 $d_3 = 16,933$ мм.

$$\sigma = \frac{4\,33945}{\pi \cdot 16,933^2} = 150,7 \text{ МПа}$$

Для Стали 45 $[\sigma]_p = 200$ МПа

$$150,7 \text{ МПа} < 200 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполняется, значит прочность «слабого звена» обеспечивается.

3.1.4 Расчёт приспособления на точность

Диаметры отверстий и размеры резьбы обеспечиваются инструментами и не зависят от способа установки. Расстояния между осями отверстий определяются точностью позиционирования станка и также не зависят от установки. Для перечисленных размеров погрешность установки равна нулю. Расчётная схема представлена на рис. 6

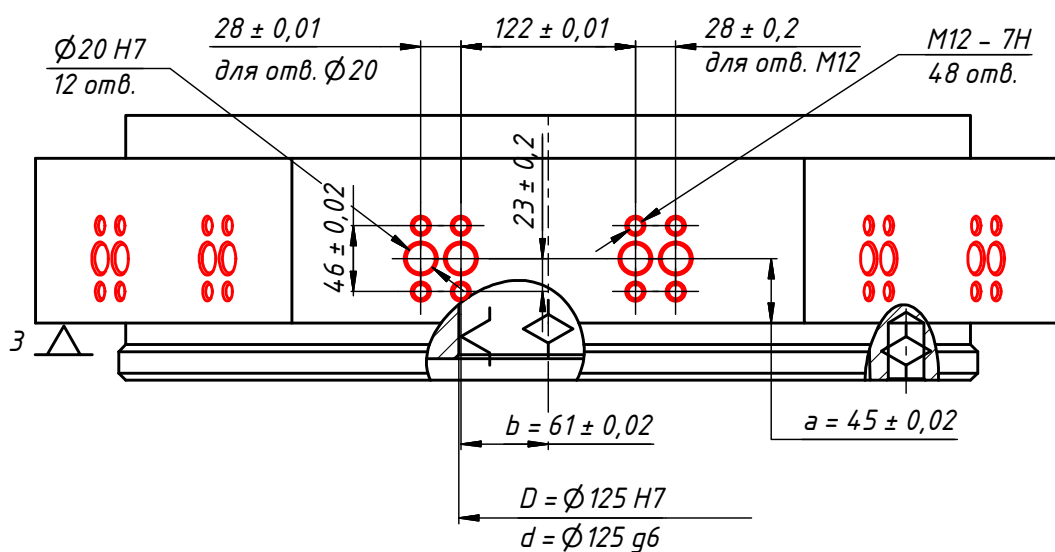


Рисунок 6 — Расчётная схема для расчёта на точность приспособления для операции 040

Размерами, определяющими положение группы отверстий относительно баз заготовки, будут $a = 45 \pm 0,02$ и $b = 61 \pm 0,02$.

Погрешность базирования

Для размера a измерительная база совпадает с технологической. Для него погрешность базирования $\varepsilon_{\text{б}a} = 0$.

Для размера b погрешность базирования можно определить по формуле: [12, с. 60]

$$\varepsilon_{\text{б}} = \frac{S}{2} + \frac{\text{TD}}{2} \quad (19)$$

где S — минимальный зазор между базовым отверстием и пальцем [мкм]

TD — допуск на размер отверстия [мкм]

$$\varepsilon_{\text{б}b} = \frac{14}{2} + \frac{40}{2} = 27 \text{ мкм}$$

Погрешность закрепления

Погрешность закрепления вызывается непостоянством силы закрепления. Погрешность закрепления влияет только на размеры, измеряемые в направлении действия силы закрепления. Для размера b погрешность закрепления $\varepsilon_{\text{закр}b} = 0$.

Для размера a погрешность закрепления можно определить по формуле: [12, с. 64]

$$\varepsilon_{\text{закр}} = y_{\text{max}} - y_{\text{min}} = C_{\text{max}} Q_{\text{max}}^n - C_{\text{min}} Q_{\text{min}}^n \quad (20)$$

где C — коэффициент, характеризующий условия контакта

n — эмпирический коэффициент

Q — сила, приходящаяся на опору [Н]

Для плоских опор приняты коэффициенты $C = 0,6 \pm 1 \%$, $n = 0,6$. Сила закрепления $Q = \frac{33945}{3} \pm 10 \%$ Н.

$$\varepsilon_{\text{закр}b} = 0,606 \cdot \frac{37339,5^{0,6}}{3} - 0,594 \cdot \frac{30550,5^{0,6}}{3} = 20 \text{ мкм}$$

Погрешность приспособления

Погрешность приспособления складывается из трёх составляющих: погрешности изготовления элементов приспособления, погрешности, вызванной износом установочных элементов и погрешности установки приспособления на станок. Приспособление установлено на станке неизменно на протяжении изготовления всей партии деталей, а установочные элементы не меняются, поэтому первая и третья составляющая приравниваются к нулю. Погрешность, вызванная износом установочных элементов, равна величине износа.

$$\varepsilon_{\text{и}} = u = \beta_2 N \quad (21)$$

где β_2 — эмпирический коэффициент

N — число установок детали на приспособление

Число установок детали принято равным программе запуска, $N = 258$ шт. Для плоских опор $\beta_2 = 0,04 \dots 0,08$; для цилиндрических пальцев $\beta_2 = 0,005 \dots 0,01$.

$$\varepsilon_{\text{и}a} = 0,06 \cdot 258 = 15,5 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_{\text{и}b} = 0,007 \cdot 258 = 1,8 \text{ мкм}$$

Погрешность установки

Суммарная погрешность установки рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_{\text{закр}}^2 + 3 \varepsilon_{\text{и}}^2} \quad (22)$$

Тогда:

$$\varepsilon_a = \sqrt{0 + 20^2 + 3 \cdot 15,5^2} = 33,5 \text{ мкм} < 40 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_b = \sqrt{27^2 + 0 + 3 \cdot 1,8^2} = 27,2 \text{ мкм} < 40 \text{ мкм}$$

Погрешности установки всех размеров меньше, чем их допуски, значит необходимую точность возможно обеспечить, используя спроектированное приспособление.

3.2 Приспособление для фрезерной операции

3.2.1 Характеристика и описание принципа работы приспособления

Спроектированное приспособление — специальное, одноместное, с ручным приводом. Предназначено для установки и закрепления заготовки под наклоном на столе фрезерного станка для фрезеровки паза под углом.

Заготовка устанавливается на установочные элементы, закреплённые на плите приспособления и закрепляется с помощью быстросъёмной шайбы, что позволяет ускорить процесс установки. Усилие закрепления создаётся вручную гайкой М20.

Установочные элементы приспособления — обработанная плоскость плиты, внутренняя цилиндрическая поверхность $\varnothing 590$ и срезанный палец $\varnothing 45$.

Приспособление закрепляется на столе станка четырьмя болтами для Т-образных пазов.

Наклон плит приспособления относительно друг друга осуществляется с помощью элементов универсальной станочной оснастки — угловых опор. Опоры базируются на основании по цилиндрическим штифтам, закрепляется болтом. На опорах таким же образом установлена наклонная плита, на которую устанавливается заготовка.

3.2.2 Силовой расчёт приспособления

Приложенная сила закрепления должна исключить возможность отрыва, сдвига или проворота заготовки под действием сил резания на протяжении всего процесса обработки. Сущность силового расчёта заключается в том, чтобы определить силу закрепления, которая обеспечит равновесие заготовки под действием всех приложенных к ней внешних сил: сил резания, закрепления, реакции опор и сил трения.

Для силового расчёта необходимо составить расчётную схему, на которой обозначены внешние силы, действующие на заготовку.

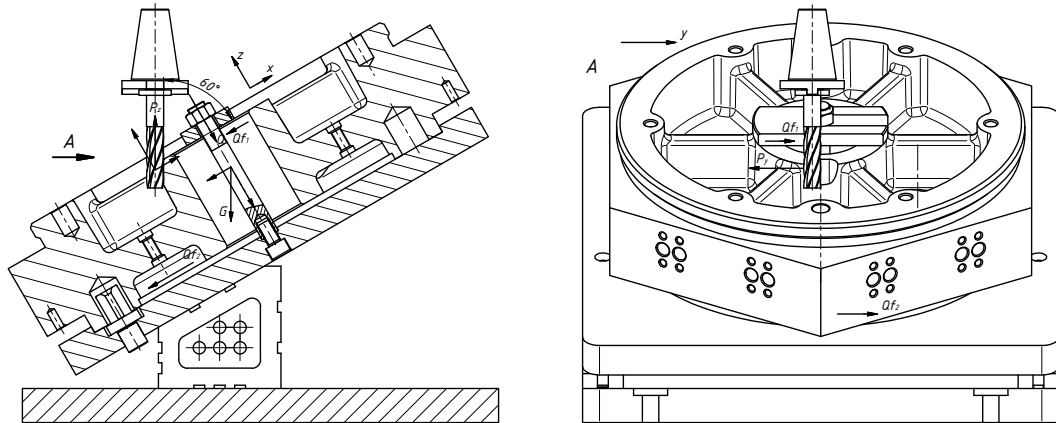


Рисунок 7 — Расчётная схема для силового расчёта приспособления для операции 045

При данной расчётной схеме сила закрепления должна удовлетворять каждому из следующих условий:

$$Q \geq K \frac{P_z \cos 60^\circ - G \cos 60^\circ}{f_1 + f_2} \quad (23)$$

$$Q \geq K (P_z \sin 60^\circ - G \sin 60^\circ) \quad (24)$$

$$Q \geq K \frac{P_y}{f_1 + f_2} \quad (25)$$

где K — коэффициент запаса

P_z, P_y — соответствующие компоненты силы резания, возникающей при обработке [Н]

G — вес заготовки [Н]

f_1, f_2 — коэффициенты трения между поверхностью заготовки и установочными и зажимными элементами приспособления

Силы резания в процессе обработки изменяются, поэтому для обеспечения надёжности закрепления силу зажима рассчитывают с учётом коэффициента запаса. Он рассчитывается по формуле:

$$K = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6$$

где $K_0 = 1,5$ — гарантированный коэффициент запаса

$K_1 = 1$ — коэффициент, учитывающий увеличение силы резания из-за случайных неровностей на заготовке

$K_2 = 1$ — коэффициент, учитывающий увеличение силы резания из-за затупления инструмента

$K_3 = 1$ — коэффициент, учитывающий увеличение силы резания при прерывистом резании

$K_4 = 1,2$ — коэффициент, учитывающий непостоянство усилия зажима

$K_5 = 1,2$ — коэффициент, учитывающий удобство расположения рукоятки ручного зажимного устройства

$K_6 = 1,1$ — коэффициент, учитывающий неопределённости из-за неровностей места контакта заготовки с опорными элементами, имеющими ограниченную опорную поверхность

Значения коэффициентов выбраны в соответствии с рекомендациями [12, разд. 4.1].

$$K = 1,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,1 = 2,38$$

Принимают коэффициент запаса $K \geq 2,5$.

В соответствии с условиями контакта опор и зажимных элементов приспособления, выбраны коэффициенты трения $f_1 = f_2 = 0,16$ [11, с. 85, табл. 10].

Силы, возникающие в процессе обработки: $P_y = 950$ Н, $P_z = 2875$ Н.
Вес заготовки: $G = 2458$ Н

$$Q \geq 2,5 \frac{2875 \cos 60^\circ - 2458 \cos 60^\circ}{0,16 + 0,16} = 1630 \text{ Н}$$

$$Q \geq 2,5 (2875 \sin 60^\circ - 2458 \sin 60^\circ) = 903 \text{ Н}$$

$$Q \geq 2,5 \frac{950}{0,16 + 0,16} = 7422 \text{ Н}$$

Выбирается наибольшее из полученных значений. $Q = 7422$ Н

Закрепление осуществляется гайкой. При известной силе закрепления номинальный диаметр винта d вычисляют по формуле:

$$d = 1,4 \sqrt{\frac{Q}{[\sigma]_p}}$$

где $[\sigma]_p$ — допустимое напряжение растяжения материала винта [МПа]

Для Стали 45 $[\sigma]_p = 200$ МПа.

$$d = 1,4 \sqrt{\frac{7421}{200}} = 7,6 \text{ мм}$$

Назначена резьба М20.

Необходимый крутящий момент на гайке рассчитывается по формуле:
[11, с. 87]

$$M_{кр} = 0,2 Q d_2$$

где d_2 — средний диаметр резьбы [мм]

Для резьбы М20 $d_2 = 18,376$ мм.

$$M_{кр} = 0,2 \cdot 7422 \cdot 18,379 = 27\,277 \text{ Н}\cdot\text{мм} = 27,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

В приспособлениях с ручным приводом усилие на конце рукоятки при закреплении не должно превышать 160 Н. Силу на конце рукоятки можно определить по формуле:

$$P = \frac{M_{кр}}{L} \quad (26)$$

где L — длина рукоятки [м]

При $L = 0,3$ м

$$L = \frac{27,3}{0,3} = 90,9 \text{ Н}$$

3.2.3 Прочностной расчёт приспособления

При проектировании приспособления необходимо выполнить расчёт на прочность «слабого звена» — наиболее нагруженного элемента конструкции.

Сущность прочностного расчёта заключается в определении действующих на «слабое звено» напряжений и сравнении их с допускаемыми.

В проектируемом приспособлении «слабым звеном», наиболее вероятно, окажется шпилька, с помощью которой осуществляется закрепление. Произведён её расчёт на разрыв по внутреннему диаметру резьбы.

Условие прочности можно определить как: [10, форм. 14.6]

$$\sigma = \frac{4 Q}{\pi d_3^2} \leq [\sigma]_p$$

где Q — сила, растягивающая болт [Н]

d_3 — внутренний диаметр резьбы [мм]

$[\sigma]_p$ — допускаемое напряжение [МПа]

Для резьбы М20 $d_3 = 16,933$ мм.

$$\sigma = \frac{4 \cdot 33945}{\pi \cdot 16,933^2} = 150,7 \text{ МПа}$$

Для Стали 45 $[\sigma]_p = 200$ МПа

$$150,7 \text{ МПа} < 200 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполняется, значит прочность «слабого звена» обеспечивается.

3.2.4 Расчёт приспособления на точность

Точностной расчёт не проводится. Требуемый размер обеспечивается методом пробных проходов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Безъязычный В. Ф.* Основы технологии машиностроения : учебник для вузов. — М. : Машиностроение, 2013. — 567 с. : ил. — URL: <https://e.lanbook.com/book/37005> (дата обр. 04.11.2018). — Режим доступа.
2. *Блюментейн В. Ю., Клецов А. А.* Проектирование технологической оснастки. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Лань, 2011. — 224 с. — URL: <https://e.lanbook.com/book/628> (дата обр. 15.12.2018).
3. *ГОСТ 14.205–83.* ЕСТПП. Технологичность конструкции изделий. Термины и определения.
4. *ГОСТ 2.105-95.* ЕСКД. Общие требования к текстовым документам.
5. *ГОСТ 3.1118-82.* ЕСТД. Формы и правила оформления маршрутных карт.
6. *ГОСТ 3.1702-79.* ЕСТД. Правила записи операций и переходов. Обработка резанием.
7. *Гузеев В. И., Батуев В. А., Сурков И. В.* Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением : Справочник / под ред. В. И. Гузеева. — 2-е изд. — М. : Машиностроение, 2007. — 368 с.
8. *Малышев Е. Н., Вяткин А. Г.* Проектирование станочных приспособлений : Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Основы конструирования приспособлений». — Калуга : Калужский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — 18 с. : ил.
9. Нормирование затрат времени на выполнение операции : Методические указания по выполнению домашнего задания по дисциплине «Технология производства деталей машин» / Е. Н. Малышев [и др.]. — Калуга : Калужский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. — 23 с. : ил.

10. *Ряховский О. А., Клыпин А. В.* Детали машин : Учебник. — М. : Машиностроение, 2002. — 288 с. : ил.
11. Справочник конструктора-машиностроителя : в 2-х т. Т2 / под ред. Р. К. М. А. Г. Косиловой. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1986. — 496 с. : ил.
12. *Тарабаринн О. И., Абызов А. П., Ступко В. Б.* Проектирование технологической оснастки в машиностроении. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Лань, 2013. — 304 с. — URL: <https://e.lanbook.com/book/5859> (дата обр. 05.12.2018).
13. Технология машиностроения : Производство машин: учебник для вузов : в 2 т. Т. 2 / В. М. Бурцев, А. С. Васильев, И. Н. Гемба [и др.]. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. — 368 с. — URL: <https://e.lanbook.com/book/106429> (дата обр. 15.12.2018).