**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ДЕПАРТАМЕНТ КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ**

Московский государственный агроинженерный университет

имени В.П. Горячкина

**Баграмов Л.Г. Колокатов А.М.**

**РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ**

**ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ**

**Методические рекомендации**

Часть I - торцовое фрезерование

**МОСКВА 2000**

 УДК 631

Расчет режимов резания при торцовом фрезеровании.

Методические рекомендации.

Составители: Л.Г. Баграмов, А.М. Колокатов - МГАУ, 2000. - ХХ с.

В части I методических указаний даны общие теоретические сведения о фрезеровании, изложена последовательность операций по расчёту режима резания при торцовом фрезеровании на основе справочных данных. Методические указания могут быть использованы при выполнении домашнего задания, в курсовом и дипломном проектировании студентами факультетов ТС в АПК, ПРИМА и Инженерно-педагогического, а также при проведении практических и научно-исследовательских работ.

Рис.9, табл.ХХ, список библ. - ХХ наименований.

 Рецензент: Бочаров Н.И. (МГАУ)



© Московский государственный агроинженерный

 университет имени В.П. Горячкина. 2000.

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

## 1.1. Элементы теории резания

Фрезерование является одним из наиболее распространённых и высокопроизводительных способов механической обработки резанием. Обработка производится многолезвийным инструментом - фрезой.

При фрезеровании главное движение резания Dr - вращение инструмента, движение подачи DS - перемещение заготовки (Рис. 1.), на карусельно - фрезерных и барабанно-фрезерных станках движение подачи может осуществляться вращением заготовки вокруг оси вращающегося барабана или стола, в отдельных случаях движение подачи может осуществляться перемещением инструмента (копировальное фрезерование).

Фрезерованием обрабатываются горизонтальные, вертикальные, наклонные плоскости, фасонные поверхности, уступы и пазы различного профиля. Особенностью процесса резания при фрезеровании является то, что зубья фрезы не находятся в контакте с обрабатываемой поверхностью всё время. Каждое лезвие фрезы последовательно вступает в процесс резания, изменяя толщину срезаемого слоя от наибольшей к наименьшей, или наоборот. Одновременно в процессе резания могут находиться несколько режущих кромок. Это вызывает ударные нагрузки, неравномерность протекания процесса, вибрации и повышенный износ инструмента, повышенные нагрузки на станок.

При обработке цилиндрическими фрезами (режущие кромки расположены на цилиндрической поверхности) рассматривается два способа обработки (Рис. 2.) в зависимости от направления движения подачи заготовки:

- встречное фрезерование, когда направление движения режущей кромки фрезы, находящейся в процессе резания, противоположно направлению движения подачи;

- попутное фрезерование, когда направление движения режущей кромки фрезы, находящейся в процессе резания, совпадает с направлением движения подачи.

При встречном фрезеровании нагрузка на зуб возрастает от нуля до максимума, силы, действующие на заготовку, стремятся оторвать её от стола, а стол поднять. Это увеличивает зазоры в системе СПИД (станок - приспособление - инструмент - деталь), вызывает вибрации, ухудшает качество обработанной поверхности. Этот способ хорошо применим для обработки заготовок с коркой, производя резание из-под корки, отрывая её, тем самым значительно облегчая резание. Недостатком такого способа является большое скольжение лезвия по предварительно обработанной и наклёпанной поверхности. При наличии некоторого округления режущей кромки она не сразу вступает в процесс резания, а поначалу проскальзывает, вызывая большое трение и износ инструмента по задней поверхности. Чем меньше толщина срезаемого слоя, тем больше относительная величина проскальзывания, тем большая часть мощности резания расходуется на вредное трение.

При попутном фрезеровании этого недостатка нет, но зуб начинает работу с наибольшей толщины срезаемого слоя, что вызывает большие ударные нагрузки, однако исключает начальное проскальзывание зуба, уменьшает износ фрезы и шероховатость поверхности. Силы, действующие на заготовку, прижимают её к столу, а стол - к направляющим станины, что уменьшает вибрации и повышает точность обработки.

## 1.2. Конструкция фрез.

Инструментом при фрезеровании являются фрезы (от французского la frais - клубника), представляющие собой многолезвийный инструмент, лезвия которого расположены последовательно в направлении главного движения резания, предназначенные для обработки с вращательным главным движением резания без изменения радиуса траектории этого движения и хотя бы с одним движением подачи, направление которого не совпадает с осью вращения.

Фрезы бывают:

по форме - дисковые, цилиндрические, конические;

по конструкции - цельные, составные, сборные и насадные, хвостовые;

по применяемому материалу режущей кромки - быстрорежущие и твердосплавные;

по расположению лезвий - периферийные, торцовые и периферийно-торцовые;

по направлению вращения - праворежущие и леворежущие;

по форме режущей кромки - профильные (фасонные и обкаточные), прямозубые, косозубые, с винтовым зубом;

по форме задней поверхности зуба - затылованные и незатылованные,

по назначению - концевые, угловые, прорезные, шпоночные, фасонные, резьбовые, модульные и др.

Рассмотрим элементы и геометрию фрезы на примере цилиндрической фрезы с винтовыми зубьями (Рис. 3.).

У фрезы различают переднюю поверхность лезвия Аγ, главную режущую кромку К, вспомогательную режущую кромку К', главную заднюю поверхность лезвия Аα, вспомогательную заднюю поверхность лезвия А'α, вершину лезвия, корпус фрезы, зуб фрезы, спинку зуба, фаску.

В координатных плоскостях статической системы координат (Рис. 4.) рассматриваются геометрические параметры фрезы, среди которых γ, α - передний и задний углы в главной секущей плоскости, γН - передний угол в нормальной секущей плоскости, ω - угол наклона зуба.

Передний угол γ облегчает образование и сход стружки, главный задний угол α способствует уменьшению трения задней поверхности по обработанной поверхности заготовки. У незатылованных зубьев передний угол выполняется в пределах γ = 10о...30о, задний угол α = 10о...15о в зависимости от обрабатываемого материала.

У затылованного зуба задняя поверхность выполняется по спирали Архимеда, что обеспечивает ему постоянство профиля сечения при всех переточках инструмента. Затылованный зуб перетачивается только по передней поверхности и выполняется, ввиду сложности, только у профильного инструмента (фасонного и обкаточного), т.е. форма режущей кромки которого определена формой обработанной поверхности. Передний угол затылованных зубьев выполняется, как правило, равным нулю, задний угол имеет значения α = 8о...12о.

Угол наклона зубьев ω обеспечивает более плавное вхождение лезвия в процесс резания по сравнению с прямыми зубьями и придаёт определённое направление сходу стружки.

Зуб торцовой фрезы имеет режущее лезвие более сложной формы. Режущая кромка состоит (Рис. 5.) из главной, переходной и вспомогательной, имеющие главный угол в плане φ, угол в плане переходной режущей кромки φп и вспомогательный угол в плане φ1. Геометрические параметры фрезы рассматриваются в статической системе координат. Углы в плане это углы в основной плоскости Рvc. Главный угол в плане φ - это угол между рабочей плоскостью РSc и плоскостью резания Рnc Величина главного угла в плане определяется исходя из условий резания как у токарного резца, при φ=0˚ режущая кромка становится только торцовой, а при φ=90˚ она становится периферийной. Вспомогательный угол в плане φ1 - это угол между рабочей плоскостью РSc и вспомогательной плоскостью резания Р'nc, он составляет 5о...10о, а угол в плане переходной режущей кромки - половину от главного угла в плане. Переходное режущее лезвие повышает прочность зуба.

Износ фрез определяется, так же как и при точении, величиной износа по задней поверхности. Для быстрорежущей фрезы допустимая ширина изношенной ленточки по задней поверхности составляет при черновой обработке сталей 0,4...0,6 мм, чугунов - 0,5...0,8 мм, при получистовой обработке сталей 0,15...0,25 мм, чугунов - 0,2...0,3 мм. Для твёрдосплавной фрезы допустимый износ по задней поверхности составляет 0,5...0,8 мм. Стойкость цилиндрической быстрорежущей фрезы составляет Т = 30...320 мин, в зависимости от условий обработки, в некоторых случаях достигает 600 мин, стойкость твёрдосплавной фрезы Т= 90...500 мин.

Различают три вида фрезерования - периферийное, торцовое и периферийно - торцовое. К основным плоскостям и поверхностям, обрабатываемым на консольных фрезерных станках (Рис. 6.), относятся:

горизонтальные плоскости; вертикальные плоскости; наклонные плоскости и скосы; комбинированные поверхности; уступы и прямоугольные пазы; фасонные и угловые пазы; пазы типа "ласточкин хвост"; закрытые и открытые шпоночные пазы; пазы под сегментные шпонки; фасонные поверхности; цилиндрические зубчатые колёса методом копирования.

Горизонтальные плоскости обрабатываются цилиндрическими (Рис. 6. а) на горизонтально-фрезерных станках и торцовыми (Рис. 6. б) на вертикально-фрезерных станках фрезами. Поскольку у торцовой фрезы одновременно участвует в резании большее количество зубьев, обработка ими более предпочтительна. Цилиндрическими фрезами обрабатываются, как правило, плоскости шириной до 120 мм.

Вертикальные плоскости обрабатывают торцовыми фрезами на горизонтальных станках и концевыми - на вертикальных (Рис. 6. в, г).

Наклонные плоскости обрабатывают торцовыми и концевыми фрезами на вертикальных станках с поворотом оси шпинделя (Рис. 6. д, е), и на горизонтальных станка угловыми фрезами (Рис. 6. ж).

Комбинированные поверхности обрабатывают набором фрез на горизонтальных станках (Рис. 6. з).

Уступы и прямоугольные пазы обрабатывают дисковыми (на горизонтальных) и концевыми (на вертикальных) фрезами (Рис. 6. и, к), при этом концевые фрезы допускают большие скорости резания, так как одновременно участвует в работе большее количество зубьев. При обработке пазов дисковые фрезы предпочтительнее.

Фасонные и угловые пазы обрабатываются на горизонтальных станках фасонными, одно- и двухугловыми фрезами (рис. 6. л, м).

Паз типа "ласточкин хвост" и Т-образные пазы обрабатываются на вертикально-фрезерных станках, как правило, за два прохода, сначала концевой фрезой (или на горизонтально-фрезерном станке дисковой фрезой) обрабатывается прямоугольный паз по ширине верхней части. После этого окончательно паз обрабатывается концевой одноугловой и специальной Т-образной (Рис. 6. н, о) фрезой.

Закрытые шпоночные пазы обрабатываются концевыми фрезами, а открытые - шпоночными на вертикальных станках (Рис. 6. п, р).

Пазы для сегментных шпонок обрабатываются на горизонтально-фрезерных станках дисковыми фрезами (Рис. 6. с).

Фасонные поверхности незамкнутого контура с криволинейной образующей и прямолинейной направляющей обрабатываются на горизонтальных и вертикальных станках фасонными фрезами (Рис. 6. т).

Торцовое фрезерование - наиболее распространенный и производительный способ обработки плоских поверхностей деталей в условиях серийного и массового производства.

# 2. ТОРЦОВОЕ ФРЕЗЕРОВАНИЕ.

## 2.1. Основные типы и геометрия торцовых фрез.

В большинстве случаев для обработки плоскостей открытых и углублённых применяются торцовые фрезы имеющие периферийные лезвия (Рис. 7.), т.е. работающие по принципу периферийно - торцовых. Конструкции торцовых фрез стандартизованы, основные типы которых приведены в табл.1 /ГОСТ \_\_\_\_-\_\_, \_\_\_\_-\_\_, \_\_\_\_-\_\_, \_\_\_\_-\_\_, \_\_\_\_-\_\_, \_\_\_\_-\_\_ /.

При обработке плоскостей этими фрезами, основную работу по удалению припуска выполняют режущие кромки, расположенные на конической и цилиндрической поверхности. Режущие кромки, расположенные на торце, производят как бы зачистку поверхности, поэтому шероховатость обработанной поверхности получается меньше, чем при фрезеровании цилиндрическими фрезами.

На Рис. 7. приведены геометрические параметры торцовой фрезы /ГОСТ 25762-83/. Зуб торцовой фрезы имеет две режущие кромки: главную и вспомогательную.

В основной плоскости Pv рассматриваются углы в плане: главный угол в плане ϕ, вспомогательный угол в плане ϕ1 и угол вершины ε. Главный угол в плане ϕ - это угол между плоскостью резания Pn и рабочей плоскостью PS. С уменьшением главного угла в плане при постоянной подаче на зуб и постоянной глубине резания толщина среза уменьшается, а ширина увеличивается, вследствие чего стойкость фрезы повышается. Однако работа фрезы с малым углом в плане (ϕ ≤ 200) вызывает возрастание радиальной и осевой составляющих сил резания, что при недостаточно жесткой системе СПИД приводит к вибрациям обрабатываемой заготовки и станка. Поэтому для торцовых твердосплавных фрез при жесткой системе и при глубине резания t = 3...4 мм принимают угол ϕ = 10...300. При нормальной жесткости системы - ϕ = 45...600; обычно принимают ϕ = 600. Вспомогательный угол в плане ϕ1 у торцовых фрез принимают равным 2...100. Чем меньше этот угол, тем меньше шероховатость обработанной поверхности.

В главной секущей плоскости Pτ рассматриваются передний угол γ и главный задний угол α. Передний угол γ - это угол между основной плоскостью Pv и передней поверхностью Аγ, главный задний угол α - это угол между плоскостью резания Рn и главной задней поверхностью Аα.

Передний угол γ для торцовых твердосплавных фрез γ = (+100)...(-200).

Главный задний угол α для торцовых твердосплавных фрез α = 10...250.

В плоскости резания рассматривается угол наклона главной режущей кромки λ. Это угол между режущей кромкой и основной плоскостью Pv. Он оказывает влияние на прочность зуба и стойкость фрезы. У торцовых твердосплавных фрез угол λ рекомендуется выполнять в пределах от +50 до +150 при обработке стали и от -50 до +150 при обработке чугуна.

Угол наклона винтовых зубьев ω обеспечивает более равномерное фрезерование и уменьшает мгновенную ширину среза при врезании. Этот угол выбирается в пределах 10...300.

## 2.2. Выбор торцовой фрезы

### 2.2.1. Выбор конструкции фрезы.

При выборе конструкции (типа) фрезы предпочтительным является применение сборных конструкций фрез с неперетачиваемыми пластинами из твердого сплава. Механическое крепление пластин дает возможность поворота их с целью обновления режущей кромки и позволяет использовать фрезы без переточки. После полного износа пластины она заменяется новой. Завод изготовитель снабжает каждую фрезу 8...10 комплектами запасных пластин. Весь комплект пластин можно заменить непосредственно на станке, при этом затрата времени на замену 10...12 ножей не превышает 5...6 минут.

### 2.2.2. Выбор материала режущей части.

Фрезы для работы при невысоких скоростях резания и малых подачах изготовляют из быстрорежущих и легированных сталей Р18, ХГ, ХВ9, 9ХС, ХВГ, ХВ5. Фрезы для обработки жаропрочных и нержавеющих сплавов и сталей изготовляют из быстрорежущих сталей Р9К5, Р9К10, Р18Ф2, Р18К5Ф2, а при фрезеровании с ударами - из стали марки Р10К5Ф5.

Марки твердых сплавов выбирают в зависимости от обрабатываемого материала и характера обработки (табл.5). для чистовой обработки применяется твёрдый сплав с меньшим содержанием кобальта и большим содержанием карбидов (ВК2, ВК3 Т15К6 и т.д.), а для черновой обработки - с большим содержанием кобальта, который придаёт определённую пластичность материалу и способствует лучшей работе при неравномерных и ударных нагрузках (ВК8, ВК10, Т5К10 и т.д.).

### 2.2.3. Выбор типа и диаметра фрезы.

Стандартные диаметры фрез (ГОСТ 9304-69, ГОСТ 9473-80, ГОСТ 16222 - 81, ГОСТ 16223 - 81, ГОСТ 22085 - 76, ГОСТ 22086 - 76, ГОСТ 22087 - 76, ГОСТ 22088 - 76, ГОСТ 26595 - 85), приведены в таблицах 1...4, их обозначения (для праворежущих торцовых фрез) - в таблицах 2, 3 и 4. Леворежущие фрезы изготавливаются по специальному заказу потребителя.

Типы торцовых фрез выбирают по условиям обработки из таблицы 1. Размеры фрезы определяются размерами обрабатываемой поверхности и толщиной срезаемого слоя. Диаметр фрезы, для сокращения основного технологического времени и расхода инструментального материала, выбирают с учётом жесткости технологической системы, схемы резания, формы и размеров обрабатываемой заготовки.

При торцовом фрезеровании для достижения режимов резания, обеспечивающих наибольшую производительность, диаметр фрезы D должен быть больше ширины фрезерования B: D = (1,25...1,5) • В

### 2.2.4. Выбор геометрических параметров

Рекомендуемые значения геометрических параметров режущей части торцовых фрез с пластинами из твердого сплава приведены в табл.6 /4/, а из быстрорежущей стали Р18 - в табл. 7 /ГОСТ \_\_\_\_-\_\_, \_\_\_\_-\_\_, \_\_\_\_-\_\_/.

## 2.3. Выбор схемы фрезерования

Схемы фрезерования определяется по расположению оси торцовой фрезы заготовки относительно средней линии обрабатываемой поверхности (рис.8.). Различают симметричное и несимметричное торцовое фрезерование /5/.

Симметричным называют такое фрезерование, при котором ось торцовой фрезы проходит через среднюю линию обрабатываемой поверхности (рис. 8.а).

Несимметричным фрезерованием называют такое фрезерование, при котором ось торцовой фрезы смещена относительно средней линии обрабатываемой поверхности (рис. 8.б, 8.в).

Симметричное торцовое фрезерование делится на полное, когда диаметр фрезы D равен ширине обрабатываемой поверхности В, и неполное, когда D больше В (рис.8.а).

Несимметричное торцовое фрезерование может быть встречным или попутным. Отнесение фрезерования к этим разновидностям производят по аналогии с фрезерованием плоскости цилиндрической фрезой.

При несимметричном встречном торцовом фрезеровании (рис.8.б) толщина срезаемого слоя a изменяется от некоторой небольшой величины (зависящей от величины смещения) до наибольшей amax=Sz, а затем несколько уменьшается. Смещение зуба фрезы за пределы обрабатываемой поверхности со стороны зуба, начинающего резание, обычно принимается в пределах С1 = (0,03...0,05) D

При несимметричном попутном торцовом фрезеровании (рис.8.в) зуб фрезы начинает работать с толщиной среза близкой к максимальной. Смещение зуба фрезы за пределы обрабатываемой поверхности со стороны зуба, заканчивающего резание, принимается незначительным, близким к нулю) С2 ≈ 0.

При обработке чугунных заготовок во многих случаях диаметр фрезы меньше ширины обрабатываемой поверхности поскольку чугунные заготовки ввиду хрупкости чугуна, особенно при изготовлении корпусных деталей, выполняются больших габаритов.

Торцовое фрезерование чугунных заготовок при B < Dф рекомендуется проводить при симметричном расположении фрезы.

При торцовом фрезеровании стальных заготовок обязательным является их несимметричное расположение относительно фрезы, при этом:

- для заготовок из конструкционных углеродистых и легированных сталей и заготовок имеющих корку (черновое фрезерование) сдвиг заготовок - в направлении врезания зуба фрезы (рис. 8.б), чем обеспечивается начало резания при малой толщине срезаемого слоя;

- для заготовок из жаропрочных и коррозийно-стойких сталей и при чистовом фрезеровании сдвиг заготовки - в сторону выхода зуба фрезы из резания (рис. 8.в), чем обеспечивается выход зуба из резания с минимально возможной толщиной срезаемого слоя.

Несоблюдение указанных правил приводит к значительному снижению стойкости фрезы /5/.

## 2.4. Назначение режима резания

К элементам режима резания при фрезеровании относятся (Рис. 9.):

- глубина резания;

- скорость резания;

- подача;

- ширина фрезерования.

Глубина резания t определяется как расстояние между точками обрабатываемой и обработанной поверхностей находящихся в плоскости резания и измеренное в направлении, перпендикулярном направлению движения подачи. В отдельных случаях эта величина может измеряться как разность расстояний точек обрабатываемой и обработанной поверхностей до стола станка или до какой-либо другой постоянной базы, параллельной направлению движения подачи.

Глубину резания выбирают в зависимости от припуска на обработку, мощности и жесткости станка. Надо стремиться вести черновое и получистовое фрезерование за один проход, если это позволяет мощность станка. Обычно глубина резания составляет 2...6 мм. На мощных фрезерных станках при работе торцовыми фрезами глубина резания может достигать 25 мм. При припуске на обработку более 6 мм и при повышенных требованиях к величине шероховатости поверхности фрезерование ведут в два перехода: черновой и чистовой.

При чистовом переходе глубину резания принимают в пределах 0,75...2 мм. Независимо от высоты микронеровностей глубина резания не может быть меньшей величины. Режущая кромка имеет некоторый радиус округления, который по мере износа инструмента увеличивается, при малой глубине резания материал поверхностного слоя подминается и подвергается пластическому деформированию. В этом случае резания не происходит. Как правило, при небольших припусках на обработку и необходимости проведения чистовой обработки (величина шероховатостей Ra = 2…0,4 мкм) глубина резания берётся в пределах 1 мм.

При малой глубине резания целесообразно применять фрезы с круглыми пластинами (ГОСТ 22086-76, ГОСТ 22088-76). При глубине резания, большей З...4 мм, применяют фрезы с шести-, пяти- и четырехгранными пластинами (табл.2).

При выборе числа переходов необходимо учитывать требования по шероховатости обработанной поверхности:

- черновое фрезерование - Ra = 12,5...6,3 мкм (3...4 класс);

- чистовое фрезерование - Ra = 3,2...1,6 мкм (5...6 класс);

- тонкое фрезерование - Ra = 0,8...0,4 мкм (7...8 класс).

Для обеспечения чистовой обработки необходимо провести черновой и чистовой переходы, количество рабочих ходов при черновой обработке определяют по величине припуска и мощности станка. Число рабочих ходов при чистовой обработке определяется требованием шероховатости поверхности.

В производственных условиях при необходимости проведения черновой и чистовой обработки они разделяются на две отдельные операции. Это вызвано следующими соображениями.

Черновая и чистовая обработки проводятся с применением различного материала режущей части фрезы и при разных скоростях резания что вызвало бы неоправданно большие затраты времени на переналадку станка , если эти переходы будут выполняться в одной операции.

Черновая обработка приводит к большим вибрациям и неравномерным и знакопеременным нагрузкам, это, в свою очередь, приводит к быстрому износу станка и потере точности обработки.

Черновая обработка приводит к образованию большого количества стружки, а также абразивной пыли, что требует специальных мер по уборке отходов. Как правило, станки для черновой обработки находятся обособленно от станков, выполняющих окончательную - чистовую и тонкую.

Подача при фрезеровании - это отношение расстояния, пройденного рассматриваемой точкой заготовки в направлении движения подачи, к числу оборотов фрезы или к части оборота фрезы, соответствующей угловому шагу зубьев.

Таким образом, при фрезеровании рассматривается подача на оборот So(мм/об) - перемещение рассматриваемой точки заготовки за время, соответствующее одному обороту фрезы, и подача на зуб Sz(мм/зуб) - перемещение рассматриваемой точки заготовки за время, соответствующее повороту фрезы на один угловой шаг зубьев.

Помимо этого рассматривается также скорость движения подачи vs (ранее определялась как минутная подача и в старой литературе и на некоторых станках такой термин ещё применяется), измеряемая в мм/мин. Скорость движения подачи - это расстояние, пройденное рассматриваемой точкой заготовки вдоль траектории этой точки в движении подачи за минуту. Эта величина используется на станках для наладки на необходимый режим, поскольку у фрезерных станков движение подачи и главное движение резания кинематически не связаны между собой.

Применение соотношения скоростей подачи и резания помогает правильно определить величины So и Sz. Используя зависимости: So = Sz · z, vs = So · n где z - число зубьев фрезы, n - число оборотов фрезы (об/мин) определим vs = So · n = Sz · z · n.

Исходной величиной при черновом фрезеровании является подача на один зуб Sz, так как она определяет жёсткость зуба фрезы. Подачу при черновой обработке выбирают максимально возможной. Ее величина может быть ограничена прочностью механизма подачи станка, прочностью зуба фрезы, жесткостью системы СПИД, прочностью и жесткостью оправки и по другим соображениям. При чистовом фрезеровании определяющей является подача на один оборот фрезы So, которая влияет на величину шероховатости обработанной поверхности.

Рекомендуемые подачи для различных условий резания приведены в таблицах 8, 9, 10 /5, 6/.

Ширина фрезерования B (мм) - величина обрабатываемой поверхности, измеренная в направлении, параллельном оси фрезы - при периферийном фрезеровании, и перпендикулярном к направлению движения подачи - при торцовом фрезеровании. Ширина фрезерования определяется наименьшей из двух величин: ширины обрабатываемой заготовки и длины или диаметра фрезы.

Скорость резания при фрезеровании v определяется как линейная скорость точки фрезы (м/мин). Действительная скорость резания определяется по формуле

где D - диаметр фрезы (мм) по наиболее удалённой от оси вращения точке режущей кромки, n - число оборотов фрезы (мм/об).

Допустимая (расчётная) скорость резания определяется по эмпирической формуле

где Cv - коэффициент, характеризующий материал заготовки и фрезы;

T - стойкость фрезы (мин);

t - глубина резания (мм);

Sz - подача на зуб (мм/зуб);

B - ширина фрезерования (мм);

Z - число зубьев фрезы;

q, m, x, y, u, p - показатели степени;

kv - общий поправочный коэффициент на изменённые условия обработки.

Величины Cv q, m, x, y, u, p приведены в табл.11.

Средние значения периода стойкости торцовых фрез при диаметре фрезы следующие

 Таблица 2.2.4. - 1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Диаметр фрезы (мм) | 40...50 | 65...125 | 160...200 | 250...315 | 400...650 |
| Стойкость (мин) | 120 | 180 | 240 | 300 | 800 |

Общий поправочный коэффициент Kv. Всякая эмпирическая формула определяется при постоянстве некоторых факторов. В данном случае этими факторами являются физико - механические сойства заготовки и материала режущей части инструмента, геометрические параметры инструмента и т.д. В каждом конкретном случае эти параметры меняются. Для учёта этих изменений и вводится общий поправочный коэффициент Kv, который представляет собой произведение отдельных поправочных коэффициентов, Каждый из которых отражает изменение, относительно исходных, отдельных параметров /5/ :

Kv = Kμv Kпv Kиv Kϕv,

Kμv - коэффициент, учитывающий физико-механические свойства обрабатываемого материала, таблицы 12, 13;

Kпv - коэффициент, учитывающий состояние поверхностного слоя заготовки, таблица 14;

Kиv - коэффициент, учитывающий инструментальный материал, таблица 15;

Kϕv - коэффициент, учитывающий величину ϕ - главного угла в плане,

 Таблица 2.2.4. - 2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ϕ | 150 | 300 | 450 | 600 | 750 | 900 |
| Kϕv | 1,6 | 1,25 | 1,1 | 1,0 | 0,93 | 0,87 |

Зная допустимую (расчетную) скорость резания v, определяют расчетную частоту вращения фрезы

где n - число оборотов фрезы, мин-1; D - диаметр фрезы, мм.

По паспорту станка выбирают такую ступень скорости, при которой число оборотов фрезы будет равно расчётному или меньше его, т.е. nф ≤ n, где nф - фактическое число оборотов фрезы, которое должно быть установлено на станке. Допускается применение такой ступени скорости, при которой увеличение фактического числа оборотов по отношению к расчетному будет не более 5%. По выбранному числу оборотов шпинделя станка уточняют фактическую скорость резания

и определяют скорость движения подачи (минутную подачу):

vS(Sм) = Sz z nф = Sо nф (мм/мин.)

Затем по паспорту станка выбирают наиболее подходящее значение - ближайшее меньшие или равное расчётной величине.

## 2.5. Проверка выбранного режима резания

Выбранный режим резания проверяют по использованию мощности на шпинделе станка и по усилию, необходимому для осуществления движения подачи.

Мощность, затрачиваемая на резание, должна быть меньше или равна мощности на шпинделе:

Nр ≤ Nшп ,

где Nр - эффективная мощность резания, кВт;

Nшп - допустимая мощность на шпинделе, определяемая по мощности привода, кВт.

Приводом станка является совокупность механизмов от источника движения до рабочего органа. Приводом главного движения резания является совокупность механизмов от электродвигателя до шпинделя станка, а его мощность определится исходя из мощности электродвигателя и потерь в механизмах.

Мощность на шпинделе определится по формуле

Nшп = Nэ η ,

где Nэ - мощность электродвигателя привода главного движения резания, кВт, η - КПД механизмов привода станка, η = 0,7 ... 0,8.

**Мощность резания при фрезеровании определяется по формуле

где Мкр - крутящий момент на шпинделе, Нм, n - число оборотов фрезы, мин-1.

Крутящий момент на шпинделе станка определится по формуле:

где Рz - главная составляющая (касательная) силы резания, Н; D - диаметр фрезы, мм.

Главная составляющая силы резания Pz при фрезеровании определяется по формуле

где Cp - коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал и другие условия;

Kp - общий поправочный коэффициент, представляющий собой произведение коэффициентов, отражающих состояние отдельных параметров, влияющих на величину силы резания,

Kр = Kμр Kvр Kγр Kϕv,

- Kμр - коэффициент, учитывающий свойства материала обрабатываемой заготовки (табл.17);

- Kvр - коэффициент, учитывающий скорость резания (табл.18);

- Kγр - коэффициент, учитывающий величину переднего угла γ (табл.19) ;

- Kϕр - коэффициент, учитывающий величину угла в плане ϕ (табл.19).

Значения коэффициента Ср и показателей степеней x , y, u, q, w приведены в табл.16.

Величина радиальной составляющей силы резания Рy может быть определена по соотношению Рy ≈ 0,4 Рz.

Если условие Nр ≤ Nшп не выдерживается, то необходимо уменьшить скорость резания или изменить другие параметры резания.

При фрезеровании имеет большое значение представление силы резания по вертикальной Pв и горизонтальной Рг составляющим. Горизонтальная составляющая силы резания Рг представляет собой силу, которую необходимо приложить для обеспечения движения подачи, она должна быть меньше (или равна) наибольшей силы, допускаемой механизмом продольной подачи станка:

Рг ≤ Рдоп, Н.

где Рдоп - наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи станка (Н), берется из паспортных данных станка (табл.20).

Горизонтальная составляющая силы резания определяется из приведённых ниже соотношений и зависит от вида торцового фрезерования /5/:

- при симметричном фрезеровании - Рг = (0,3...0,4) Рz;

- при несимметричном встречном - Рг = (0,6...0,8) Рz;

- при несимметричном попутном - Рг = (0,2...0,3) Рz ;

Если условие Рг ≤ Рдоп не выдерживается, необходимо уменьшить силу резания Рz за счет уменьшения подачи на зуб Sz и, соответственно, скорости движения подачи vS (минутной подачи Sм).

## 2.6. Расчёт времени выполнения операции и использования оборудования

Штучное время Тшт - время, затрачиваемое на выполнение операции, определяется как интервал времени, равный отношению цикла технологической операции к числу одновременно изготовляемых изделий и рассчитывается как сумма составляющих

Тшт = То + Твсп + Тобс + Тотд, (мин)

где То - основное время, это часть штучного времени, затрачиваемая на изменение и последующее определение состояние предмета труда, т.е. время непосредственного воздействия инструмента на заготовку;

Твсп - вспомогательное время, это часть штучного времени, затрачиваемая на выполнение приёмов, необходимых для обеспечения непосредственного воздействия на заготовку.

Тобс - время обслуживания рабочего места, это часть штучного времени, затрачиваемая исполнителем на поддержание средств технологического оснащения в работоспособном состоянии и уход за ними и рабочим местом. Время обслуживания рабочего места складывается из времени организационного обслуживания (осмотр и опробование станка, раскладка и уборка инструмента, смазка и очистка станка) и времени технического обслуживания (регулирование и подналадка станка, смена и подналадка режущего инструмента, правка шлифовальных кругов и т.п.);

Тотд - время на личные потребности, это часть штучного времени, затрачиваемая человеком на личные потребности и, при утомительных работах, на дополнительный отдых;

### 2.6.1. Основное время

Основное время при фрезеровании равно отношению длины пути, пройденного фрезой, за число рабочих ходов к скорости движения подачи, и определяется по формуле

где L - общая длина прохода фрезы в направлении подачи, мм;

- i - число рабочих ходов;

- l - длина обрабатываемой заготовки, мм;

- l1 - величина врезания фрезы, мм;

- l2 - величина перебега фрезы, мм; l2 = 1...5 мм.

Величина врезания l1 при фрезеровании торцовыми фрезами определяется из условий:

- при симметричном неполном (для случая на рис.2а):

- при несимметричном встречном (для случая на рис.2б):

- при несимметричном попутном (для случая на рис.2в):

l1 = 0,5 D,

где D - диаметр фрезы, мм; В - ширина заготовки, мм; C1 - величина смещения фрезы относительно торца заготовки (рис.2б).

### 2.6.2 Вспомогательное время.

К этому времени относится время, затрачиваемое на установку, закрепление, снятие заготовки (табл. 21), время на управление станком при подготовке рабочего хода (табл. 22), выполнение измерений в процессе обработки (табл. 23).

### 2.6.3. Оперативное время.

Сумму основного и вспомогательного времени называют оперативным временем:

Tоп = То + Твсп .

Оперативное время является основным составляющим штучного времени.

### 2.6.4. Время на обслуживание рабочего места и время на личные надобности

Время на обслуживание рабочего места и время на личные надобности часто берут в процентах от оперативного времени :

Тобс = (3...8 % ) Tоп; Тотд = (4...9 % ) Tоп; Тобс + Тотд ≈ 10% Tоп.

### 2.6.5. Штучно - калькуляционное время

Для определения нормы времени - времени выполнения определённого объёма работ в конкретных производственных условиях одним или несколькими рабочими, необходимо определить штучно - калькуляционное время Тшк, в которое входит, помимо штучного времени, ещё и время на подготовку рабочих и средств производства к выполнению технологической операции и приведение их в первоначальное состояние после её окончания - подготовительно - заключительное время Тпз. Это время необходимо для получения задания, приспособлений, оснастки, инструмента, установки их, для наладки станка на выполнение операции, снятие всех средств оснащения и сдачи их (табл.24). В штучно - калькуляционное время подготовительно - заключительное время входит как доля его, приходящаяся на одну заготовку. Чем большее число заготовок n обрабатывается с одной наладки станка (с одного установа, в одной операции) тем меньшая часть подготовительно - заключительного времени входит в состав штучно - калькуляционного.

В массовом производстве Тпз принимается равным нулю, так как практически вся работа выполняется при одной наладке станка.

### 2.6.6. Расчёт потребности в оборудовании.

Расчетное количество станков (Z) для выполнения определенной операции рассчитывается по формуле

где Тшт - штучное время, мин; П - программа выполнения деталей в смену, шт.;

Тсм - время работы станка в смену, ч. В расчётах принимается время работы станка в смену Тсм = 8 часов, в реальных условиях на каждом предприятии это время может приниматься иным.

### 2.6.7. Технико-экономическая эффективность.

Оценку технико-экономической эффективности технологической операции проводят по ряду коэффициентов, в числе которых: коэффициент основного времени и коэффициент использования станка по мощности /7, 8, 9/.

Коэффициент основного времени Ко определяет его долю в общем времени, затрачиваемом на выполнение операции

где Kо - коэффициент основного времени /9/.

Чем выше Kо, тем лучше построен технологический процесс, поскольку больше времени, отведённого на операцию, станок работает, а не простаивает, т.е. в этом случае уменьшается доля вспомогательного времени.

Ориентировочно величина коэффициента Kо для разных станков находится в следующих пределах

- протяжные станки - Kо = 0,35...0,945;

- фрезерные непрерывного действия - Kо = 0,85...0,90;

- остальные - Kо = 0,35...0,90.

Если коэффициент основного времени Kо ниже этих величин, то необходимо разработать мероприятия по уменьшению вспомогательного времени (применение быстродействующих приспособлений, автоматизация измерений детали, совмещение основного и вспомогательного времени и др.).

Коэффициент использования станка по мощности КN определяется как



де KN - коэффициент использования станка по мощности /9/; NР - мощность резания, кВт (в расчёте принимают ту часть технологической операции, которая происходит с наибольшими затратами мощности резания); Nст - мощность главного привода станка, кВт; η - КПД станка.

Чем KN ближе к 1, тем более полно используется мощность станка.

При неполной загрузке станка ухудшается показатель использования электроэнергии. Полная электрическая мощность, потребляемая из сети, S распределяется на активную P и реактивную Q. Их соотношения определяются как

При полной загрузке электродвигателя значение cosφ не будет равно 1, т.е. при этом из сети расходуется также и реактивная энергия. С учётом используемых электродвигателей примерные значения cosφ будут следующими: при загрузке 100% cosφ=0,85, при загрузке 50% - 0,7, при загрузке 20% - 0,5, и на холостом ходу - 0,2 этой величины.

Рассмотрим пример правильности применения ряда фрезерных станков (моделей 6Р13, 6Н13, 6Р12, 6Н12, 6Р11), если мощность потребная на резание составляет Nрез=3,2 кВт.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Показатели | Модели фрезерных станков |  |
| 6Р13 | 6Н13 | 6Р12 | 6Н12 | 6Р11 |
|  | Мощность эл. двигателя  | Nэд | 11,0 | 10,0 | 7,5 | 7,0 | 5,5 |
|  | Мощность холостого хода  | Nхх | 2,200 | 2,500 | 2,250 | 1,750 | 1,100 |
|  | Мощность резания  | Nрез | 3,200 | 3,200 | 3,200 | 3,200 | 3,200 |
|  | Активная мощность  | P=Nхх+Nрез | 5,400 | 5,700 | 5,450 | 4,950 | 4,300 |
|  | Коэффициент использования  | KN | 0,491 | 0,570 | 0,727 | 0,707 | 0,782 |
|  | мощности электро двигателя |  |  |  |  |  |  |
|  | Косинус фи  | cos φ | 0,585 | 0,635 | 0,718 | 0,708 | 0,740 |
|  | Полная потребляемая мощность | S | 9,231 | 8,976 | 7,591 | 6,992 | 5,811 |
|  | Коэффициент эффективности потребляемой электр. мощности | Кэф | 0,585 | 0,635 | 0,718 | 0,708 | 0,740 |
|  |
|  | Излишне использованная мощность из электросети | N из | 3,831 | 3,276 | 2,141 | 2,042 | 1,511 |
|  |
|  | Неоправданные затраты электрической мощности | Nнеоп | 2,320 | 1,766 | 0,630 | 0,531 | 0,000 |
|  |

Из приведённого примера видно, что неправильный выбор станка приводит к таким перерасходам электроэнергии, которые могут быть сопоставлены с мощностью резания.

В целях погашения излишне используемой реактивной мощности, за которую предприятия платят значительные штрафы, необходимо создавать специальные устройства для её погашения емкостной мощностью.

# 3. ПРИМЕР РАСЧЕТА РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

## 3.1. Условия задачи.

### 3.1.1 Исходные данные.

Исходными данными для расчёта режима резания являются:

материал заготовки - поковка из стали 20Х;

предел прочности материала заготовки - σв = 800 МПа (80 кг/мм2);

ширина обрабатываемой поверхности заготовки, В - 100 мм;

длина обрабатываемой поверхности заготовки, L - 800 мм;

требуемая шероховатость обработанной поверхности, Ra - 0,8 мкм (7 класс шероховатости);

общий припуск на обработку, h - 6 мм;

средняя дневная программа производства по данной операции, П - 200 шт.

### 3.1.2. Цель расчётов.

В результате проведённых расчётов необходимо:

выбрать фрезу по элементам и геометрическим параметрам;

выбрать фрезерный станок;

рассчитать величины элементов режима резания - глубина резания t, подача S, скорость резания v;

провести проверку выбранного режима резания по мощности привода и прочности механизма подачи станка;

произвести расчёт времени, необходимого для выполнения операции;

произвести расчёт необходимого количества станков;

провести проверку эффективности выбранного режима резания и подбора оборудования.

## 3.2. Порядок расчета.

### 3.2.1. Выбор режущего инструмента и оборудования.

Исходя из общего припуска на обработку h = 6 мм и требований к шероховатости поверхности, фрезерование ведем в два перехода: черновой и чистовой. По таблице 1 определяем тип фрезы - выбираем торцовую фрезу с многогранными твердосплавными пластинками по ГОСТ 26595-85. Диаметр фрезы выбираем из соотношения:

D = (1,25...1,5) В = 1,4 100 = 140 мм

Выбор фрезы уточняем по таблицам 1, 2, 3, 4 - ГОСТ 26595-85, диаметр D = 125 мм, число зубьев z = 12, пятигранные пластинки, условное обозначение - 2214-0535.

Материал режущей части фрезы выбираем по таблице 5 для чернового фрезерования углеродистой и легированной незакалённой стали - Т5К10, для чистового фрезерования - Т15К6.

Геометрические параметры фрезы выбираем по таблицам 6 и 7 для фрез с пластинами из твёрдого сплава (табл. 6) при обработке стали конструкционной углеродистой с σв ≤ 800 МПа и подачей для чернового фрезерования > 0,25 мм/зуб: γ = -50; α = 80; ϕ = 450; ϕо = 22,50; ϕ1 = 50; λ = 140; для чистового фрезерования с подачей < 0,25 мм/зуб: γ = -50; α = 150; ϕ = 600; ϕо = 300; ϕ1 = 50; λ = 140.

Черновое фрезерование производим по схеме - несимметричное встречное (Рис. 8.б), чистовое - несимметричное попутное (Рис. 8.в).

Предварительно принимаем проведение работ на вертикально - фрезерном станке 6Р13, паспортные данные в таблице 20.

### 3.2.2. Расчёт элементов режима резания.

#### 3.2.2.1. Назначение глубины резания.

При назначении глубины резания в первую очередь из общего припуска выделяется та его часть, которая остаётся для проведения чистовой обработки - t2 = 1 мм. Чистовое фрезерование проводится за 1 рабочий ход i2 = 1. Отсюда припуск h1 при черновом фрезеровании составит :

h1 = 6 - 1 = 5 мм.

Для снятия этого припуска достаточно одного рабочего хода, поэтому принимаем число рабочих ходов при черновом фрезеровании i1 = 1. Тогда глубина резания t1 при черновом фрезеровании составит

t1 = h1 / i1 = 5 / 1 = 5 мм.

#### 3.2.2.2. Назначение подачи.

Подачу при черновом фрезеровании выбираем из таблиц 8 и 9. Для торцовых фрез с пластинами из твёрдого сплава (табл. 8) с мощностью станка > 10 кВт при несимметричном встречном фрезеровании для пластинки Т5К10 подача на зуб находится в пределах Sz1 = 0,32…0,40 мм/зуб. Принимаем меньшую величину для гарантированного обеспечения условия по мощности на шпинделе Sz1 = 0,32 мм/зуб, подача на оборот составит . Sо1 = Sz1 z =0,32 12 = 3,84 мм/об.

Подачу при чистовом фрезеровании выбираем по таблице 10. Для торцовых фрез с пластинами из твёрдого сплава (часть Б) с материалом, имеющим σв ≥ 700 МПа с шероховатостью обработанной поверхности Ra = 0,8 мкм с углом ϕ1 = 50 подача на оборот фрезы находится в пределах Sо2 = 0,30…0,20 мм/об. Принимаем большую величину для повышения производительности процесса Sо2 = 0,30 мм/об. При этом подача не зуб составит

Sz2 = Sо2 / z = 0,30 / 12 = 0,025 мм/зуб.

#### 3.2.2.3. Определение скорости резания.

Скорость резания определяем по формуле:

Значения коэффициента Cv и показателей степени определяем по таблице 11. Для чернового и чистового фрезерования конструкционной углеродистой стали с σв ≥ 750 МПа с применением твёрдосплавных пластин:

Cv = 332, q = 0,2; m = 0,2; x = 0,1; y = 0,4; u = 0,2; p = 0.

Принимаем Т = 180 мин, п. 2.4 таблица 1.

Общий поправочный коэффициент

Kv = Kμv Kпv Kиv Kϕv

Кμ находим по таблице 12 для обработки стали. Расчётная формула Кμ = Кг (750/σв)nv. По таблице 13 находим для обработки стали углеродистой с σв > 550 МПа для материала инструмента из твёрдого сплава Кг = 1, nv = 1. Тогда Кμ1,2 = 1 (750/800)1,0 = 0,938.

Kϕv находим по таблице 2.2.4. - 2 для чернового фрезерования при ϕ = 45о Kϕv1 = 1,1; для чистового фрезерования при ϕ = 60о Kϕv2 = 1,0.

Kпv находим по таблице 14 для обработки при черновом фрезеровании - поковки Kпv1 = 0,8, при чистовом фрезеровании - без корки Kпv2 = 1.

Kиv находим по таблице 15 для обработки стали конструкционной фрезой с пластинками из твёрдого сплава Т5К10 при черновом фрезеровании Kиv1 = 0,65, с пластинками из твёрдого сплава Т15К6 при чистовом фрезеровании Kиv2 = 1.

Общий поправочный коэффициент для чернового фрезерования равен

Kv1 = 0,938 1,1 0,8 0,65 = 0,535.

Общий поправочный коэффициент для чернового фрезерования равен

Kv2 = 0,938 1,0 1,0 1,0 = 0,938.

Скорость резания при черновом фрезеровании равна

Скорость резания при чистовом фрезеровании равна:

Расчетное число оборотов фрезы определяем для чернового и чистового фрезерования по выражению



#### 3.2.2.4. Уточнение режимов резания

По паспорту станка 6Р13 уточняем возможную настройку числа оборотов фрезы и находим фактические значения для черновой обработки nф1 = 200 мин-1, для чистовой обработки nф2 = 1050 мин-1, т.е. выбираем ближайшие наименьшие значения от расчётных. В результате этого изменится и фактическая скорость резания, которая составит при черновой обработке

vф1 = πDn/1000 = 3,14 • 125 • 200/1000 = 78,50 м/мин ,

а при чистовой обработке

vф2 = πDn/1000 = 3,14 • 125 • 1050/1000 = 412,12 м/мин .

Для уточнения величин подач необходимо рассчитать скорость движения подачи vS по величине подачи на зуб и на оборот

vS = So • n = Sz • z • n;

vS1 = 0,32 • 12 • 200 = 768 мм/мин ; vS2 = 0,3 • 1050 = 315 мм/мин.

По паспорту станка находим возможную настройку на скорость движения подачи, выбирая ближайшие наименьшие значения, vS1 = 800 мм/мин, поскольку эта величина только на 4,17% выше расчётной и vS2 = 315 мм/мин. Исходя из принятых величин уточняем значения подач на зуб и на оборот

Soф1 = 800 / 200 = 4 мм/об; Szф1 = 4 / 12 = 0,333 мм/зуб;

Soф2 = 315 / 1050 = 0,3 мм/об; Szф2 = 0,3 / 12 = 0,025 мм/зуб;

### 3.2.3. Проверка выбранного режима резания

Выбранный режим резания проверяем по характеристикам станка: мощности на шпинделе станка и максимально допустимому усилию, прилагаемому к механизму подачи. Поскольку нагрузки на станок при черновой обработке значительно выше, чем при чистовой, проверку выбранного режима резания проводим для чернового фрезерования.

Мощность, затрачиваемая на резание, должна быть меньше или равна мощности на шпинделе : Nр ≤ Nшп.

Мощность на шпинделе

Nшп = Nэ η = 11 0,8 = 8,8 кВт.

Мощность резания при черновом фрезеровании определится по формуле

Крутящий момент определится по формуле

Главная составляющая силы резания определяется по формуле

Значение коэффициента Ср и показателей степеней x, y, u, q, w находим по таблице 16: Ср = 825; x = 1,0; y = 0,75; u = 1,1; q = 1,3; w = 0,2. При затуплении фрезы до допустимой величины сила резания возрастает по стали с σв > 600 МПа в 1,3…1,4 раза. Принимаем увеличение в 1,3 раза.

Общий поправочный коэффициент Kр = Kμр Kvр Kγр Kϕр .

Кμр определяем по таблице 17 для обработки конструкционных углеродистых и легированных сталей Кμр = ( σв/750 )np, показатель степени np = 0,3 , тогда Кμр = ( 800/750 )0,3 = 1,02.

Kvр определяем по таблице 18 для черновой обработки при скорости резания до 100 м/мин при отрицательных значениях переднего угла Kvр1 = 1, для чистовой обработки при скорости резания до 600 м/мин Kvр2 = 0,71.

Kγр и Kϕр определяем по таблице 19. При γ = -5о Kγр = 1,20 и при ϕ = 45о Kϕр1 = 1,06, при ϕ = 60о Kϕр2 = 1,0.

Величина общего поправочного коэффициента составит

Кр1 = 1,02 1 1,20 1,06 = 1,297; Кр2 = 1,02 0,71 1,20 1,0 = 0,869

Главная составляющая силы резания при черновом фрезеровании составит

Крутящий момент определится как

Мощность резания при черновом фрезеровании определится как

Условие правильности выбора режима резания по мощности привода Nр ≤ Nшп не соблюдается, поскольку 48,51 > 8,8, это означает, что выбранный режим резания не может быть осуществлен на данном станке.

Наиболее эффективно снижение мощности резания за счёт уменьшения скорости резания, а также уменьшения подачи на зуб. Мощность резания необходимо уменьшить в 5,5 раза, для этого скорость резания уменьшим за счёт уменьшения числа оборотов фрезы с 200 до 40 об/мин с 78,5 м/мин до 14,26 м/мин. Скорость движения подачи при этом снизится с 768 мм/мин до vS1 = 0,32 • 12 • 40 = 153,6 мм/мин. Поскольку изменение глубины резания приведёт к необходимости проведения второго рабочего хода, изменим величину скорости движения подачи до 125 мм/мин (таблица 20), при этом подача на зуб фрезы составит Sz1 = 125/12 • 40 = 0,26 мм/зуб.

Подставив новое значение подачи на зуб в формулу расчёта главной составляющей силы резания получим Pz1 = 31405,6 Н, крутящий момент станет равным Мкр1 = 1960,3 Нм, мощность резания Nр1 = 8,04 кВт, что удовлетворяет требованиям по мощности привода.

Вторым условием является то, что горизонтальная составляющая силы резания (усилие подачи) должна быть меньше (или равна) наибольшей силы, допускаемой механизмом продольной подачи станка: Рг ≤ Рдоп.

Для станка 6Р13 Рдоп = 15000 Н.

Горизонтальная составляющая силы резания Рг при условии несимметричного встречного чернового фрезерования

Рг = 0,6 Рz1 = 0,6 31364,3 = 18818,58 Н.

Так как условие Рг ≤ Рдоп не соблюдается (18818,58 > 15000 ), выбранный режим резания не удовлетворяет условию прочности механизма продольной подачи станка. Для снижения горизонтальной составляющей силы резания необходимо уменьшить подачу на зуб фрезы. Представим формулу расчёта главной составляющей силы резания в виде

Наибольшее допустимое механизмом подачи значение главной составляющей силы резания должно быть не больше Pz1 ≤ Pдоп / 0,6 ≤ 15000 / 0,6 ≤ 25000 Н. Из этого условия находим Sz1 

По вновь выбранному значению Sz1 определяем vs1 = 0,192 12 40 = 92,16 мм/мин, ближайшее меньшее значение на станке vs1 = 80 мм/мин. Фактическая подача на оборот фрезы составит Soф = 2 мм/об, фактическая подача на зуб фрезы составит Szф = 0,167 мм/зуб.

В связи с многократным превышением показателей первого расчёта над допустимыми необходимо провести проверку правильности выбора режима резания при чистовом переходе.

Главная составляющая силы резания при чистовой обработке значительно ниже допустимых величин, в связи с чем корректировать расчёт не требуется.

Окончательно данные расчёта сведены в таблице

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование показателей | Единицы измерения | Для перехода |
| чернового | чистового |
| Глубина резания t | мм | 5 | 1 |
| Расчётная подача на зуб фрезы Sz | мм/зуб | 0,323 | 0,025 |
| Расчётная подача на оборот фрезы So | мм/об | 3,84 | 0,3 |
| Расчётная скорость резания v | м/мин | 88,24 | 503,25 |
| Расчётное число оборотов фрезы n | об/мин | 224,82 | 1282,16 |
| Фактическое число оборотов фрезы nф | об/мин | 200 | 1050 |
| Фактическая скорость резания vф | м/мин | 78,50 | 412,12 |
| Расчётная скорость движения подачи vS | мм/мин | 768 | 315 |
| Фактическая скорость движения подачи vSф | мм/мин | 800 | 315 |
| Фактическая подача на оборот фрезы Soф | мм/об | 4 | 0,3 |
| Фактическая подача на зуб фрезы Szф | мм/зуб | 0,333 | 0,025 |
| Главная составляющая силы резания Pz | Н | 37826,7 | 521 |
| Крутящий момент Мкр | Нм  | 2364,17 |  |
| Мощность резания N | кВт | 48,51 |  |
| *Первая корректировка режима резания* |
| Фактическое число оборотов фрезы nф | об/мин | 40 |  |
| Фактическая скорость резания vф | м/мин | 15,7 |  |
| Расчётная скорость движения подачи vS | мм/мин | 159,84 |  |
| Фактическая скорость движения подачи vSф | мм/мин | 160 |  |
| Главная составляющая силы резания Pz | Н | 31364,3 |  |
| Крутящий момент Мкр | Нм  | 1960,3 |  |
| Мощность резания N | кВт | 8,08 |  |
| Горизонтальня составл. силы резания Pг | Н | 18818,58 |  |
| *Вторая корректировка режима резания* |
| Расчётная подача на зуб фрезы Sz | мм/зуб | 0,192 |  |
| Расчётная скорость движения подачи vS | мм/мин | 92,16 |  |
| Фактическая скорость движения подачи vSф | мм/мин | 80 |  |
| Фактическая подача на оборот Soф | мм/об | 2 |  |
| Фактическая подача на зуб Szф | мм/зуб | 0,167 |  |

Таким образом станок налаживается по следующим величинам:

Черновой переход nф1 = 40 мин-1, vS1 = 80 мм/мин;

Чистовой переход nф2 = 1050 мин-1, vS2 = 315 мм/мин.

### 3.2.4. Расчёт времени выполнения операции.

#### 3.2.4.1. Расчёт основного времени.

Основное время определяем по формуле

Длина фрезерования l = 800 мм;

Величина врезания фрезы l1 определяется для условия несимметричного встречного фрезерования, принимаем С1 = 0,04 D,

l1 = 0,5125 - √0,04125(125 - 0,04125) = 62,25 - 24,25 = 38 мм.

Величину перебега фрезы l2 для чернового и чистового фрезерования принимаем одинаковой l2 = 5 мм.

Число рабочих ходов i при чистовом и черновом фрезеровании равно 1.

Общая длина прохода фрезы для чернового и чистового фрезерования

L = 800 + 38 + 5 = 843 мм.

Основное время при торцовом фрезеровании заготовки за черновой и чистовой переходы составит:



#### 3.2.4.2. Определение штучного времени.

Штучное время, затрачиваемое на данную операцию, определяется как

Тшт = То + Твсп + Тобс + Тотд

Вспомогательное время Твсп, затрачиваемое на установку и cнятие детали, определяем по таблице 21. Принимаем способ установки детали при длине 800 мм - на столе с выверкой средней сложности; при массе детали до 10 кг - время на установку и снятие заготовки равно 1,8 мин. Вспомогательное время на рабочий ход (таблица 22) принимаем для обработки плоскостей с одной пробной стружкой - 0,7 мин и на последующие проходы - 0,1 мин всего - 0,8 мин. Вpемя на измеpение заготовки с помощью штангенциркуля (таблица 23) по ширине и толщине заготовки (высоте от стола) - размеры до 100 мм с точностью до 0,1 мм, принимаем равным 0,13 мин.

Твсп = 1,8 + 0,8 + 0,13 = 2,73 мин.

Тогда оперативное время

Tоп1 = То + Твсп = 10,54 + 2,73 = 13,27 мин.

То2 = 2,68 + 2,73 = 5,41 мин

Время на обслуживание pабочего места и вpемя на отдых принимаем в процентах от оперативного времени:

Тотд1 + Тобс1 = 10 % Tоп = 0,1 13,27 = 1,32 мин ;

Тотд2 + Тобс2 = 10 % Tоп = 0,1 5,41 = 0,54 мин ;

Штучное время, затрачиваемое на данную операцию,

Тшт1 = То1 + Твсп1 + Тобс1 + Тотд1 = То1 0,1 То1 =13,27 + 1,32 = 14,59 мин.

Тшт2 = То2 + Твсп2 + Тобс2 + Тотд2 = То2 0,1 То2 = 5,41 + 0,54 = 5,95 мин.

#### 3.2.4.3. Определение штучно-калькуляционного времени

Норма подготовительно - заключительного времени на выполнение данной операции при установке заготовки на столе с креплением болтами и планками (таблица 24) составит 24 мин.



### 3.2.5. Определение технико - экономической эффективности

#### 3.2.5.1. Определение потребного количества станков

Принимаем количество станков необходимых для выполнения черновой обработки - Z1ф = 6 шт, и для чистовой обработки Z2ф = 3 шт. Шести станков для черновой операции на всю операционную партию не хватает, однако приняв 7 станков получим большой недогруз станков по времени работы. Предпочтительней принять загрузку шести станков с добавлением одной целой смены за определённый период времени. Для операции чистовой обработки 3 станка не будут полностью загружены в течение смены и с тем, чтобы их не переналаживать на выполнение другой операции необходимо откорректировать размер сменного задания - операционную партию. Одну смену за определённый период можно освободить для выполнения других работ или профилактики оборудования. При этом операционные партии составят

П1ф = Z1ф Тсм 60 / Тшк1 =6 8 60 / 14,71 = 196 шт.

П2ф = Z2ф Тсм 60 / Тшк2 =3 8 60 / 6,07 = 237 шт.

При черновой обработке нехватка оборудования составит

(П1 - П1ф) / П1= (200 - 196) / 200 = 1 / 50,

т.е. через 50 смен необходимо добавить ещё одну для выполнения всего задания.

При чистовой обработке излишек времени оборудования составит

(П2ф - П2) / П2 = (237-200) / 200 = 10 / 54,

т.е. примерно на каждые 6 смен одна смена может быть освобождена для выполнения других работ.

#### 3.2.5.2. Коэффициент основного вpемени

В рассчитанных операциях основное время в составе штучного времени будет иметь следующую долю

Ко1 = То1 / Тш1 = 10,54 / 14,59 = 0,72

Ко2 = То2 / Тш2 = 2,68 / 5,95 = 0,45

Данные говорят о том, что при выполнении чистовой обработки относительно много времени отводится для вспомогательных действий, поэтому следует провести организационные или технологические мероприятия по механизации процессов, сокращению вспомогательного времени, совмещению основного и вспомогательного времени и т.д. При выполнении черновой обработки доля основного времени достаточно высока и не требует первоочередного проведения каких-либо мероприятий.

#### 3.2.5.3. Коэффициент использования мощности станка

При операции черновой обработки мощность резания составляет 8,04 кВт при мощности на шпинделе станка 8,8 кВт, при этом коэффициент использования мощности составит

КN = Np / Nст η = 8,04 / 11 0,8 = 0,92

Коэффициент использования мощности станка KN достаточно высок, при необходимости он может быть несколько повышен за счёт увеличения подачи на зуб.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Колокатов А.М. Методические указания по расчету (назначению) режимов резания при торцовом фрезеровании. - М.,МИИСП, 1989. - 27 с.

2. Некрасов С.С. Обработка материалов резанием. - М.: Агропромиздат, 1988.- 336 с.

3. Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки /Кривоухов В.А., Петруха П.П. и др. - М. :Машиностроение, 1967. - 654 с.

4. Краткий справочник металлиста./ Под ред. А.Н.Малова и др. - Изд.2-е.- М. :Машиностроение, 1971. - 767 с.

5. Справочник технолога - машиностроителя. В 2 т. /Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К.Мещерякова.- 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1985.

6. Долматовский Г.А. Справочник технолога по обработке металлов резанием. - 3-е изд., перераб. - М.:ГНТИ, 1962. - 1236 с.

7. Некрасов С.С., Байкалова В.Н Методические рекомендации по выполнению домашнего задания по курсу "Обработка конструкционных материалов резанием" (для студентов факультетов механизации сельского хозяйства и инженерно-педагогического). - М.: МИИСП, 1988. - 38 с.

8. Некрасов С.С., Байкалова В.Н., Колокатов А.М. Определение технической нормы времени станочных операций: Методические рекомендации. - М.: МГАУ, 1995. - 20 с.

9. Некрасов С.С., Колокатов А.М., Баграмов Л.Г. Частные критерии оценки технико-экономической эффективности технологических процессов: Методические рекомендации. - М.: МГАУ, 1997. - 7 с.

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

Таблица 1

**Стандартные торцовые фрезы**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ГОСТ | Типы торцовых фрез | Диаметр фрезы, (мм) / число ножей фрезы, (шт). |
| 26595-85 | Фрезы торцовые с механическим креплением многогранных пластин.Типы и основные размеры.  | 50/5, 63/6, 80/8, (80/10), 100/8, 100/10, 125/8, 125/12, 160/10, 160/14, (160/16), 200/12, 200/16, (200/20), 250/14, 250/24, 315/18, 315/30, 400/20, 400/40, 500/26, 500/50 |
| 24359-80 | Фрезы торцовые насадные со вставными ножами, оснащенными пластинами из твердого сплава.Конструкция и размеры. | 100/8, 125/8, 160/10,200/12, 250/14, 315/18,400/20, 500/26, 630/30 |
| 22085-76 | Фрезы торцовые насадные с механическим креплением пятигранных твердосплавных пластин  | 100/8, 125/8, 160/10, 200/12 |
| 22087-76 | Фрезы торцовые концевые с механическим креплением пятигранных твердосплавных пластин |  63/5, 80/6 |
| 22086-76 | Фрезы торцовые насадные с механическим креплением круглых твердосплавных пластин | 100/10, 125/12, 160/14, 200/16 |
| 22088-76 | Фрезы торцовые концевые с механическим креплением круглых твердосплавных пластин  |  50/5, 63/6, 80/8 |
| 9473-80 | Фрезы торцовые насадные мелкозубые со вставными ножами, оснащенными пластинами из твердого сплава.Конструкция и размеры. | 100/10, 125/12, 160/16, 200/20, 250/24, 315/30, 400/36, 500/44, 630/52 |
| 9304-69 | Фрезы торцовые насадные.Типы и основные размеры. | 40/10, 50/12, 63/14, 80/16, 100/18, 63/8, 80/10,100/12, |
| 16222-81 | Фрезы торцовые насадные для обработки легких сплавов  | 50, 63, 80 при z = 4 |
| 16223-81 | Фрезы торцовые насадные со вставными ножами с твердосплавными пластинами для обработки легких сплавов.Конструкция и размеры. | 100/4, 125/6, 160/6, 200/8, 250/10, 315/12 |

Примечание: В скобках указаны фрезы другого исполнения

Таблица 2

**Фрезы торцовые с механическим креплением многогранных пластин**

**(ГОСТ 26595-85)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Обозначение фрез с пластинами формы | D,  |  |
| 3-граннойϕ = 900 | 4-граннойϕ = 750 | 5-граннойϕ = 670 | круглой | мм | Z |
| 2214-03512214-03592214-03682214-03772214-03952214-04212214-05392214-05542214-04622214-04792214-05062214-0524 | 2214-03532214-03622214-03712214-03792214-03972214-04232214-05422214-05562214-04642214-04822214-05082214-0526 | 2214-03552214-03642214-03732214-03822214-03992214-05352214-05442214-02772214-04662214-04842214-05112214-0528 | 2214-03572214-03662214-03752214-03842214-04022214-02922214-02932214-05582214-04682214-04862214-05132214-0531 | 50638080100125160200250315400500 | 568101012141214184050 |

Примечание: Пример условного обозначения торцовой фрезы диаметром 80 мм, праворежущей, с механическим креплением трехгранных пластин из твердого сплава, с числом зубьев 8: Фреза 2214-0368 ГОСТ 26595-85.

То же, для пластин из безвольфрамового твердого сплава:

Фреза 2214-0368 Б ГОСТ 26595-85.

# Таблица 3

**Фрезы торцовые насадные со вставными ножами, оснащенными**

**пластинами из твердого сплава (ГОСТ 24359-80)**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Обозначение | D, мм | Z | Обозначение | D, мм | Z |
| 2214-00012214-00032214-00052214-0007 | 100125160200 | 881012 | 2214-00112214-00132214-00152214-00172214-0019 | 250315400500630 | 1418202630 |

Примечания: 1. Главный угол в плане ϕ может быть 450, 600, 750, 900

Пример условного обозначения праворежущей торцовой фрезы

с ножами, оснащенными пластинами из твердого сплава марки

Т5К10 диметром 200 мм и углом ϕ = 600:

Фреза 2214-0007 Т5К10 600 ГОСТ 24359-80

# Таблица 4

**Фрезы торцовые концевые и насадные с механическим креплением**

**круглых твердосплавных пластин**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ГОСТ | Обозначение | D, мм | Z |
| 22088-76 | 2214-03212214-03222214-0323 | 506380 | 568 |
| 22086-76 | 2214-02912214-02922214-02932214-0294 | 100125160200 | 10121416 |

Примечание: Пример условного обозначения фрезы диаметром 80 мм:

Фреза 2214-0323 ГОСТ 22088-76

Таблица 5

**Марки твёрдого сплава для торцовых фрез**

|  |  |
| --- | --- |
|  | Марка твёрдого сплава для торцовых фрез при обработке |
| Вид фрезерования | углеродистой и легированной незакаленной | труднообраба-тываемойстали | чугуна |
|  | стали |  | HB 240 | HB 400...700 |
| черновое | Т5К10, Т5К12БТТ7К12Б,ТТ10К8Б | ВК8,ВК10-ОМ,ВК15-ОМ | ВК8ВК10ВК15 | - |
| получистовое | Т15К6,Т14К8 | ВК8,ВК6-ОМ,ВК10-ОМ | ВК6ВК6М | ВК6М |
| чистовое | Т15К6,Т30К4 | ВК8,ВК6М | ВК2, ВК3,ВК3М, ВК4 | ВК3М |

Примечание: В сплаве ВК6М буква М означает мелкозернистую структуру.

Буквы ОМ - особо мелкозернистая структура

# Таблица 6

**Геометрические параметры режущей части торцовых фрез**

**с пластинами из твердого сплава**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | Задний угол для | Угол в плане | Угол |
| Обрабатываемыйматериал | Перед-нийугол, | работы с подачейв мм/зуб,αn = α1 | глав-ный, | переходной кромки | вспо-мога-тельный, | наклонарежущейкромки, |
|  | γ | < 0,25 | > 0,25 | ϕ | ϕо | ϕ1 | λ |
| Сталиконструкционныеуглеродистые : σв ≤ 800 МПа σв > 800 МПа | -50-100 | 12-160 | 6 - 80 | 15-600 | ϕ/2 | 50 | 12-150 |
| Чугун серыйHB 200 | +50 | 12-150 | 6 - 80 | 15-600 | ϕ/2 | 50 | 12-150 |
| Чугун ковкий | +70 | 6 - 80 | 60 | 600 | ϕ/2 | 20 | 12-150 |

# Таблица 7

**Геометрические параметры режущей части торцовых фрез**

**из быстрорежущей стали Р18**

*1. Передние углы* ***γ*** *в град.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Фрезы | Сталь, σв МПа | Чугун, НВ |
|  | < 600 | 600-1000 | > 1000 | < 150 | 150-220 | > 220 |
| Торцовые | 200 | 150 | 100 | 150 | 100 | 50 |

*2. Задние углы* ***α*** *в град.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Фрезы торцовые | Главный αn  | Торцовый α1 |
| - с мелкими зубьями- со вставными ножами и крупными зубьями | 160120 | 8080 |

*3. Углы в плане и переходной кромки в град.*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Фрезы торцовыедля стали | Главный, ϕ | Вспомога-тельный, ϕ1 | Переходнойкромки,ϕ0 | Длина пере-ходной кромки, ƒ0 ,мм |
| - со вставными ножами- цельные | 45...600900 | 1...201...20 | -450 | -1...2 |

# Таблица 8

**Подачи при черновом фрезеровании торцовыми фрезами**

**с пластинами из твердого сплава**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Мощность станка,кВт | Схемафрезерования | Сталь | Чугун |
| Подача на один зуб фрезы Sz , мм/зуб |
| Т15К6 | Т5К10 | ВК6 | ВК8 |
| 5 - 10 | симметричноенеполное(рис. 8. а) | 0,09...0,14 | 0,12...0,14 | 0,14...0,18 | 0,20...0,24 |
| несимметричноевстречное(рис. 8. б) | 0,18...0,22 | 0,24...0,28 | 0,28...0,36 | 0,38...0,45 |
| свыше 10 | симметричноенеполное(рис. 8. а) | 0,12...0,15 | 0,16...0,20 | 0,18...0,24 | 0,25...0,32 |
| несимметричноевстречное(рис. 8. б) | 0,24...0,30 | 0,32...0,40 | 0,38...0,48 | 0,50...0,64 |

# Таблица 9

**Подачи при черновом фрезеровании торцовыми фрезами**

**из быстрорежущей стали**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Мощность  | Жесткость  | Подача на один зуб Sz, мм, при обработке : |
| станка, кВт | системы СПИД | стали | чугуна |
| **Фрезы с крупным зубом и фрезы со вставными ножами** |
| свыше 10 | ПовышеннаяСредняяПониженная | 0,20...0,300,15...0,250,10...0,15 | 0,40...0,600,30...0,500,20...0,30 |
| 5 - 10 | ПовышеннаяСредняяПониженная | 0,12...0,200,08...0,150,06...0,10 | 0,30...0,500,20...0,400,15...0,25 |
| до 5 | СредняяПониженная | 0,06...0,070,04...0,06 | 0,15...0,300,10...0,20 |
| **Фрезы с мелким зубом** |
| 5 - 10 | ПовышеннаяСредняяПониженная | 0,08...0,120,06...0,100,04...0,08 | 0,20...0,350,15...0,300,10...0,20 |
| до 5 | СредняяПониженная | 0,04...0,060,03...0,05 | 0,12...0,200,08...0,15 |

Примечания. Большие значения подач брать для меньшей глубины и ширины

 фрезерования, меньшие - для больших значений глубины и ширины.

# Таблица 10

**Подачи на оборот фрезы, мм/об, при чистовом фрезеровании :**

**А. торцовыми фрезами из быстрорежущей стали**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ПараметршероховатостиRа, мкм | Сталь 45 40Х (прокат) | Сталь 35 | Сталь 45улучшенная | Сталь 10, 20,20Х |
| 5,0 ... 2,5 | 1,2...0,50 | 1,4...0,50 | 2,6...1,00 | 1,8...0,70 |
| 2,5 ... 1,25 | 0,5...0,23 | 0,5...0,30 | 1,0...0,40 | 0,7...0,30 |

Примечание. Подачи даны для фрез из быстрорежущей стали с углом ϕ1 = 20.

 Для фрез с ϕ1 = 00 подачи можно увеличить на 50...80 %.

**Б. торцовыми фрезами с пластинами из твердого сплава**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Обрабатываемый | Угол | Параметр шероховатости Rа, мкм  (класс шероховатости) |
| материал - сталь | ϕ1 | 5,0 ... 2,5(5 класс) | 2,5 ... 1,25(6 класс) | 1,25...0,63(7 класс) | 0,63...0,32(8 класс) |
| σв < 700 МПа | 50 | 0,80...0,50 | 0,55...0,40 | 0,25...0,20 | 0,15 |
|  | 20 | 1,6...1,0 | 1,1...0,80 | 0,50...0,40 | 0,30 |
| σв ≥ 700 МПа | 50 | 1,0...0,7 | 0,60...0,45 | 0,30...0,20 | 0,20...0,16 |
|  | 20 | 2,0...1,4 | 1,2...0,90 | 0,60...0,40 | 0,40...0,30 |

# Таблица 11

**Значения коэффициента Сv и показателей степени в формуле**

**скорости резания при торцовом фрезеровании**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Материалрежущей | Параметрырежимарезания | Коэффициент и показатели степени |
| части | B | t | Sz | Cv | q | x | y | u | p | m |
| Обработка конструкционной углеродистой стали, σв  = 750 МПа |
| Т15К6\*1 | - | - | - | 332 | 0,2 | 0,1 | 0,4 | 0,2 | 0 | 0,2 |
| Р6М5\*2 | -- | -- | ≤ 0,1> 0,1 | 64,741 | 0,250,25 | 0,10,1 | 0,20,4 | 0,150,15 | 00 | 0,20,2 |
| Обработка серого чугуна, НВ 190 |
| ВК6\*1Р6М5\*2 | -- | -- | -- | 44542 | 0,20,2 | 0,150,1 | 0,350,40 | 0,20,1 | 00,1 | 0,320,15 |
| Обработка ковкого чугуна, НВ 150 |
| ВК6\*1 | -- | -- | ≤ 0,18> 0,18 | 994695 | 0,220,22 | 0,170,17 | 0,10,32 | 0,220,22 | 00 | 0,330,33 |
| Р6М5\*2 | -- | -- | ≤ 0,1> 0,1 | 90,557,4 | 0,250,25 | 0,10,1 | 0,20,4 | 0,150,15 | 0,10,1 | 0,20,2 |
| Обработка жаропрочной стали 12Х18Н9Т в состоянии поставки |
| ВК8\*1Р6М5\*2 | -- | -- | -- | 10846,9 | 0,20,15 | 0,060,2 | 0,30,3 | 0,20,2 | 00,1 | 0,320,14 |
| Обработка силумина и литейных алюминиевых сплавов, σв  = 100...200 МПа, НВ ≤ 65 и дюралюминия, σв  = 300...400 МПа, НВ ≤ 100 |
| Р6М5\*1 | -- | -- | ≤ 0,1> 0,1 | 245155 | 0,250,25 | 0,10,1 | 0,20,4 | 0,150,15 | 0,10,1 | 0,20,2 |

Примечание. \*1 Без охлаждения,  \*2  С охлаждением.

# Таблица 12

**Поправочный Кμ , учитывающий физико-механические свойства**

**обрабатываемого материала.**

|  |  |
| --- | --- |
| Обрабатываемый материал | Расчетная формула |
|  Сталь | Кμ = Кг (750/σв)nv  |
|  Серый чугун | Кμ = ( 190/НВ )nv  |
|  Ковкий чугун | Кμ = ( 150/НВ )nv  |

 Примечания:. 1. σв иНВ - фактические параметры, характеризующие обрабатываемый материал, для которого рассчитывается скорость резания.

1. Значения коэффициента Кг , характеризующий группу стали по обрабатываемости, и показателя степени nv  приведены в табл.13.

# Таблица 13

**Значения коэффициента Кг и показатели степени nv****в формуле**

**для рассчета коэффициента обрабатываемости Кμ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Обрабатываемый | Коэффициент Кг дляматериала инструмента | Показатели степени nvпри обработке фрезами |
| материал | из быстрорежущей стали | из твердогосплава | из быстрорежущей стали | из твердогосплава |
| Сталь : - углеродистая (С≤0,6 %) : σв < 450 МПа σв = 450...550 МПа σв > 550 МПа - повышенной и высокой обрабатываемости резанием - углеродистая (С>0,6 %) - быстрорежущие | 1,01,01,01,20,80,6 | 1,01,01,01,10,90,7 | -0,9-0,9-0,9-1,351,0 | 1,01,01,01,01,01,0 |
| Чугун : серый ковкий | -- | -- | 0,950,85 | 1,251,25 |

# Таблица 14

**Поправочный коэффициент Кп, зависимости скорости резания от**

**состояние поверхности заготовки**

|  |
| --- |
| Состояние поверхности заготовки |
|  | с коркой |
| без корки | Прокат | Поковка | Стальные и чугунныеотливки при корке | Медные иалюминиевые |
|  |  |  | нормальной | сильнозагрязненной | сплавы |
| 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,8...0,85 | 0,5...0,6 | 0,9 |

Таблица 15

**Поправочный коэффициент Ки зависимости скорости резания от**

**материала режущей части инструмента**

|  |  |
| --- | --- |
| Обрабатываемыйматериал | Значения коэффициента Ки  в зависимости от марки инструментального материала |
| Сталь | Т5К12В | Т5К10 | Т14К8 | Т15К6 | Т30К4 | ВК8 |  |
| конструкционная | 0,35 | 0,65 | 0,8 | 1,0 | 1,4 | 0,4 |  |
| Сталь | HRC 35...50 | HRC 51...62 |
| закаленная | Т15К6 | Т30К4 | ВК6 | ВК8 | ВК4 | ВК6 | ВК8 |
|  | 1,0 | 1,25 | 0,85 | 0,83 | 1,0 | 0,92 | 0,74 |
| Серый и ковкий | ВК8 | ВК6 | ВК4 | ВК3 |  |
| чугун | 0,83 | 1,0 | 1,1 | 1,15 |  |

# Таблица 16

**Значения коэффициента Ср и показателей степени в формуле**

**главной составляющей силы резания Рz при торцовом фрезеровании**

|  |  |
| --- | --- |
| Материалрежущей части | Коэффициент и показатели степени |
| инструмента | Cр | x | y | u | w | q |
| Обработка конструкционной углеродистой стали, σв  = 750 МПа |
| Твердый сплав | 825 | 1,0 | 0,75 | 1,1 | 0,2 | 1,3 |
| Быстрорежущая сталь | 82,5 | 0,95 | 0,80 | 1,1 | 0 | 1,1 |
| Обработка серого чугуна, НВ 190 |
| Твердый сплав | 54,5 | 0,9 | 0,74 | 1,0 | 0 | 1,0 |
| Быстрорежущая сталь | 50,0 | 0,9 | 0,72 | 1,14 | 0 | 1,14 |
| Обработка ковкого чугуна, НВ 150 |
| Твердый сплав | 491 | 1,0 | 0,75 | 1,1 | 0,2 | 1,3 |
| Быстрорежущая сталь | 50 | 0,95 | 0,80 | 1,1 | 0 | 1,1 |
| Обработка жаропрочной стали 12Х18Н9Т в состоянии поставки, НВ 141 |
| Твердый сплав | 218 | 0,92 | 0,78 | 1,0 | 0 | 1,15 |

Примечание.

1. Главную составляющую силы резания Рz при фрезеровании алюминиевых сплавов рассчитывать как для стали, с введением коэффициента 0,25.

2. Главная составляющая силы резания Рz , рассчитанная по табличным данным, соответствует работе фрезой без затупления. При затуплении фрезы до допускаемой величины износа главная составляющая силы резания возрастает: при обработке мягкой стали (σв  < 600 МПа) в 1,75...1,9 раза ; во всех остальных случаях - в 1,3...1,4 раза.

# Таблица 17

**Поправочный коэффициент Кμр зависимости силы резания от качества обрабатываемого материала для обработки стали и чугуна,**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Обрабатываемыйматериал | Расчетнаяформула | Показатель степени npпри определении окружной силы резания  |
| Конструкционнаяуглеродистая и легированная сталь : σв ≤ 600 МПа σв > 600 МПа | Кμр = ( σв/750 )np  | 0,3 / 0,30,3 / 0,3 |
| Серый чугун | Кμр = ( НВ/190 )np | 1,0 / 0,55 |
| Ковкий чугун | Кμр = ( НВ/150 )np | 1,0 / 0,55 |

Примечание. В числителе приведены значения показателя степени np для

 твердого сплава, в знаменателе - для быстрорежущей стали.

# Таблица 18

**Поправочный коэффициент Кvр зависимости главной составляющей**

**силы резания от скорости резания**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| При скоростиV, м/мин | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 |
| Кvр при положи-тельных значенияхпередних углов | 1,0 | 0,92 | 0,86 | 0,83 | 0,80 | 0,78 | 0,77 |
| Кvр при отрица-тельных значенияхпередних углов | 1,0 | 0,87 | 0,80 | 0,77 | 0,73 | 0,71 | 0,70 |

# Таблица 19

**Поправочные коэффициенты Кγр и Кϕр зависимости силы резания**

**от геометрических параметров фрезы**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Передний угол,γ 0 | -200 | -150 | -100 | -50 | 00 | +50 | +100 | +150 | +200 |
| Kγp | 1,39 | 1,32 | 1,26 | 1,20 | 1,12 | 1,07 | 1,00 | 0,94 | 0,87 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Угол в плане,ϕ 0 | 150 | 300 | 450 | 600 | 750 | 900 |
| Kϕp | 1,24 | 1,15 | 1,06 | 1,00 | 1,04 | 1,08 |

# Таблица 20

**Паспортные данные вертикально-фрезерных станков**

|  |  |
| --- | --- |
| Станок | Паспортные данные |
| 6Р13 | Рабочая поверхность стола - 400 х 1600 мм.Мощность электродвигателя главного движения Nэ = 11 кВт. КПД станка η = 0,8.Частота вращения шпинделя, мин-1 : 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600.Подачи стола продольные и поперечные (мм/мин): 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1050. Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи стола, Р = 15000 Н.  |
| 6Р12 | Рабочая поверхность стола - 520 х 1250 мм.Мощность электродвигателя главного движения Nэ= 7,5 кВт.КПД станка η = 0,7.Частота вращения шпинделя, мин-1 : 31,5; 40; 50; 63; 80; 100;125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600.Продольные подачи стола (мм/мин) : 25; 31,5; 40; 50; 63; 80;100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250.Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи стола, Р = 15000 Н. |

|  |  |
| --- | --- |
| Станок | Паспортные данные |
| 6Р11 | Рабочая поверхность стола - 250 х 1000 мм.Мощность электродвигателя главного движения Nэ= 5,5 кВт. КПД станка η = 0,8.Частота вращения шпинделя, мин : 50; 63; 80; 100; 125; 160;200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600. Продольные подачи стола (мм/мин): 35; 45; 55; 65; 85; 115; 135; 170; 210; 270; 330; 400; 530; 690; 835; 1020. Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи стола, Р = 10000 Н. |
| 6Н13 | Рабочая поверхность стола - 400 х 1600 мм. Мощность электродвигателя главного движения Nэ =10 кВт. КПД станка η = 0,75.Частота вращения шпинделя, мин-1 : 30; 37,5; 47,5; 60; 75; 118; 150; 190; 235; 300; 375; 475; 600; 750; 950; 1180; 1500. Подачи стола (мм/мин) : 23; 30; 37; 47; 60; 75; 95; 110; 150; 190; 240; 300; 370; 470; 600; 750; 1200. Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи стола, Р = 20000 Н. |
| 6Н12 | Рабочая поверхность стола - 320 х 1250 мм.Мощность электродвигателя главного движения Nэ = 7 кВт.КПД станка η = 0,75.Частота вращения шпинделя, мин-1 : 30; 37,5; 47,5; 60; 75; 95; 118; 150; 190; 235; 300; 375; 475; 600; 750; 950; 1180; 1500. Подачи стола (мм/мин) : 19; 23,5; 30; 37,5; 47,5; 60; 75; 95; 118; 150; 190; 235; 300; 375; 475; 600; 750; 900. Наибольшее усилие, допускаемое механизмом продольной подачи стола, Р = 15000 Н. |

# Таблица 21

**Вспомогательное время на установку и снятие детали**

|  |  |
| --- | --- |
|  | Масса детали, кг, до |
| Способ установки | 1 | 3 | 5 | 10 | 20 | 30 |
|  | Время, мин |
| В центрах | 0,2 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 1,0 | 1,4 |
| В трехкулачковом патроне | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | - |
| В тисках с простой выверкой | 0,3 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 1,0 | - |
| В тисках с выверкой среднейсложности | 0,4 | 0,9 | 1,2 | 1,5 | 2,0 | - |
| На призмах | 0,6 | 1,0 | 1,3 | 1,5 | 2,1 | 2,4 |
| На столе с простой выверкой | 0,7 | 0,9 | 1,2 | 1,6 | 1,8 | 2,2 |
| На столе с выверкой среднейсложности | 1,0 | 1,2 | 1,5 | 1,8 | 2,2 | 3,0 |

# Таблица 22

**Вспомогательное время на рабочий ход**

|  |  |
| --- | --- |
| Операции | Время, мин |
| Обработка плоскостей (первый проход с двумяпробными стружками) | 1,0 |
| Обработка плоскостей (первый проход с однойпробной стружкой) | 0,7 |
| Обработка плоскостей (последующие проходы) | 0,1 |

# Таблица 24

**Подготовительно-заключительное время**

|  |  |
| --- | --- |
| Способ установки | Время, мин |
| На столе с креплением болтами и планками | 24 |
| В тисках  | 22 |
| В центрах | 28 |
| В трехкулачковом патроне | 16 |
| В спецприспособлении | 27 |

# Таблица 23

**Вспомогательное время на измерения**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Измерительныйинструмент | Точностьизмерения, мм;квалитет | Измеряемый размер, мм |
| 100 | 500 | 1000 |
| Время, мин |
|  Линейка | - | 0,06 | 0,09 | 0,11 |
|  Угольник | - | 0,10 | 0,24 | - |
|  Штанга раздвижная | - | - | 0,17 | 0,21 |
|  Штангенциркуль | 0,1 мм0,02 мм | 0,130,25 | 0,200,35 | 0,440,66 |
|  Микрометр | 0,1 мм | 0,22 | 0,30 | - |
|  Скоба двухсторонняя | 11 ... 136 ... 10 | 0,070,16 | -- | -- |
|  Скоба односторонняя | 11 ... 136 ... 10 | 0,060,06 | 0,130,20 | -- |
|  Нутромер  (микрометрический штихмасс) | 0,01 мм | 0,15 | 0,18 | 0,34 |
|  Пробка двухсторонняя  предельная | 9 ... 106 ... 8 | 0,130,18 | -- | -- |
|  Индикатор | 6 ... 10 | 0,08 | - | - |

# Таблица 25

**ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ**

**обработанной поверхности**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| (Классшероховатости) | Параметры шероховатости, мкм | Базоваядлина l, мкм |
| **Ra** | **Rz** |
| **-****-****1****2****3****4****5****6****7****8****9****10****11****12****13****14** | **-****100** **80; 63; 50; 40** **40; 32; 25; 20** **20; 16; 12,5; 10** **10; 8,0; 6,3; 5,0**  **5,0; 4,0; 3,2; 2,5** **2,5; 2,0; 1,6; 1,25** **1,25; 1,00; 0,80; 0,63** **0,63; 0,50; 0,40; 0,32** **0,32; 0,35; 0,20; 0,16** **0,16; 0,125; 0,10; 0,08** **0,08; 0,063; 0,05; 0,04** **0,04; 0,032; 0,025; 0,020** **0,02; 0,016; 0,012; 0,010** **0,01; 0,008** | **1600;1250;1000;800****630; 500; 400****320; 250; 200; 160****160; 125; 100; 80** **80; 63; 50; 40** **40; 32; 25; 20** **20; 16; 12,5; 10,0** **10; 8; 6,3** **6,3; 5,0; 4,0; 3,2** **3,2; 2,5; 2,0; 1,60** **1,6; 1,25; 1,0; 0,80** **0,80; 0,63; 0,50; 0,40** **0,40; 0,32; 0,20** **0,20; 0,16; 0,125; 0,100** **0,10; 0,08; 0,063; 0,050** **0,05; 0,04; 0,032; 0,025** |  **25** **25** **8** **8** **8** **2,5** **2,5****0,8****0,8****0,8** **0,025** **0,025** **0,025** **0,025** **0,08** **0,08** |

 Примечание : 1. Параметр Ra является предпочтительным

 2. Предпочтительные значения параметров подчеркнуты

# Таблица 26

**Варианты заданий по расчёту режима резания**

**при торцовом фрезеровании стали**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вариант** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** |
| предел прочности σв , МПа | 1000 | 950 | 900 | 850 | 800 | 800 | 700 | 650 | 600 | 550 | 500 |
| твердость, НВ | 280 | 265 | 250 | 235 | 220 | 210 | 205 | 200 | 185 | 160 | 150 |
| припуск на обработку, h мм | 2 | 3,2 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 5,5 | 6.5 | 7,5 | 8,5 | 9 |
| Размерызаготовки :ширина В, ммдлина L, мм | 70500 | 80550 | 90600 | 70600 | 80650 | 90700 | 90650 | 100700 | 120800 | 130700 | 140800 |
| шероховатость, Rа , мкм | 3,2 | 1,6 | 0,8 | 0,4 | 3,2 | 1,6 | 0,8 | 0,4 | 3,2 | 1,6 | 0,8 |
| Род заготовки | прокат | поковка | отливка | прокат |
| Станок | 6Р11 | 6Н12 | 6Н13 | 6Р12 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вариант** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** | **19** | **20** | **21** | **22** |
| предел прочности σв , МПа | 1000 | 950 | 900 | 850 | 800 | 700 | 700 | 650 | 600 | 550 | 500 |
| твердость, НВ | 280 | 265 | 250 | 235 | 220 | 210 | 205 | 185 | 185 | 160 | 150 |
| припуск на обработку, h мм | 8 | 13 | 15 | 14 | 10 | 8 | 9 | 8 | 7,5 | 6,5 | 10 |
| Размерызаготовки :ширина В, ммдлина L, мм | 90600 | 100650 | 120700 | 80700 | 90850 | 110900 | 100550 | 120600 | 140700 | 130900 | 150900 |
| шероховатость, Rа , мкм | 3,2 | 1,6 | 0,8 | 0,4 | 3,2 | 1,6 | 0,8 | 0,4 | 3,2 | 1,6 | 0,8 |
| Род заготовки | прокат | поковка | отливка | прокат |
| Станок | 6Р13 | 6Н13 | 6Н12 | 6Р11 |

**Баграмов Л.Г. Колокатов А.М.**

**РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ**

**ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ**

Часть I Торцовое фрезерование.

**Методические рекомендации**

План 2000, п.

Подписало в печать "\_\_"\_\_\_\_\_\_2000 г. Объем п.л. Тираж 100 экз.

Формат Заказ Цена - на халяву - руб.

------------------------------------------------------------------------------------------

Ротапринт Московского государственного агроинженерного

 университета имени В.П. Горячкина

12755О, Москва, И-55О, Тимирязевская ул., 58

Подрисуночные подписи

Рис. 1. Элементы движений в процессе резания при периферийном фрезеровании.

1 - направление скорости результирующего движения резания; 2 - направление скорости главного движения резания; 3 - рабочая плоскость Рs; 4 - рассматриваемая точка режущей кромки; 5 - направление скорости движения подачи.

Рис. 2. Схема встречного и попутного фрезерования.

1 - обрабатываемая заготовка; 2 - стол станка; аmax - наибольшая толщина срезаемого слоя; Sz - подача на зуб фрезы; Рг, Рв - силы, действующие на заготовку; t - глубина резания.

Рис. 3. Геометрические элементы цилиндрической фрезы.

1 - передняя поверхность лезвия Аγ; 2 - главная режущая кромка К; 3 - вспомогательная режущая кромка К'; 4 - главная задняя поверхность лезвия Аα; 5 - вспомогательная задняя поверхность лезвия А'α; 6 - вершина лезвия; 7 - корпус фрезы; 8 - зуб фрезы; 9 - спинка зуба; 10 - фаска; D - диаметр, L - длина фрезы; γ, α - передний и задний углы в главной секущей плоскости; γН - передний угол в нормальной секущей плоскости; ω - угол наклона зуба.

Рис. 4. Координатные плоскости в статической системе координат при периферийном фрезеровании.

Рvc - основная плоскость, Рnc - плоскость резания, Рτ - главная секущая плоскость, РН - нормальная секущая плоскость.

Рис. 5. Геометрические элементы торцовой фрезы.

φ, φп, φ1 - углы в плане главный, переходной режущей кромки и вспомогательный, DS - движение подачи, Sz - подача на зуб, t - глубина резания, а - толщина срезаемого слоя одним зубом, f - величина переходной режущей кромки.

1.3. Схемы фрезерования и обрабатываемые поверхности.

Рис. 6. Схема обработки поверхностей заготовок на горизонтально и вертикально-фрезерных станках.

Рис. 7. Углы торцовой фрезы со вставными зубьями.

Рис. 8. Схемы торцового фрезерования.

а - симметричное неполное; б - несимметричное встречное; в - несимметричное попутное.

Рис. 9. Элементы режима резания при фрезеровании.

1 - заготовка, 2 - фреза цилиндрическая, 3 - фреза торцовая, t - глубина резания, DSпр - движение продольной подачи, Dr - главное движение резания, B - ширина фрезерования.