Методические указания

По освоению

T-FLEX CAD и T-FLEX CAM

Для технологической подготовки производства



Научный руководитель:

к.т.н. доцент Мартюшин А. В.

Выполнили студенты:

Бочкарёв Д. А.

Шаталин Е. А.

Пенза 2023 г.

ВВЕДЕНИЕ

Станок с числовым программным управлением (ЧПУ) — это средство производства, механические приводы которого приводятся в действие под управлением специальной программой, которая определяет порядок выполняемых операций, используемый инструмент и задающей режимы обработки.

САПР *T-FLEX PLM (Product Lifecycle Management)* представляет из себя полноценный спектр программного обеспечения для сопровождения изделия от идеи до производства. В данном методическом пособии рассматривается объединенное использование комплексов *T-FLEX CAD* и *T-FLEX ЧПУ*.

T-FLEX CAD (Computer-aided design) представляет из себя среду проектирования, с удобным интерфейсом для создания чертежей изделий.

Программный комплекс *T-FLEX* ЧПУ, входящий в состав САПР *T-FLEX PLM* позволяет создать управляющие программы (УП) в автоматическом режиме по заданной 3D модели детали. *T-FLEX* ЧПУ состоит из отдельных модулей различной обработки (токарной, сверлильной, фрезерной).

В едином окне *T-FLEX PLM* пользователь может проводить все этапы проектирования от создания рабочего чертежа до автоматической генерации УП.

1. Ознакомление с системами *T-FLEX CAD* и *T-FLEX CAM*

1.1 Создание 3D детали по 2D чертежу

Для создания 3D модели в программном пакете *T-FLEX CAD* потребуется чертёж детали — рисунок 1.



Рисунок 1 – Чертеж рассматриваемой детали

Используя окно «Детали и сборки» в главном меню программы, выбираем команду «3D деталь» (рисунок 2).

Сборка Оформлогия Споцификации Поранотры	Измерение	Аналиа Редоктиревание	Инструменты Вод	909		
артор котор Настройка Приможание Настройка Настройка Настройка Настройка Настройка	рособие Видео (йн уроси об Ресурсы	(ромории Спосилений				
/		Создать новый док	умент			
T.FLEX CAD 17		Детали и сборки Спецификации	-ЛЕ Деталь	2D Céopka	🖆 3D Деталь	3D Сборка
Педавние документы		Тежарты				
 Задание 2 Пример.grb Пример Фрезерование или Сверление.grb Для НПУ Доталь.grb ЗО Деталь 1.grb 	4 4 4 4	Фотореализм Чертежи Электротояника				•

Рисунок 2 – Главное меню *T-FLEX CAD*

В появившемся трёхмерном пространстве выбираем грань «Вид сверху» и применяем команду «Чертить на рабочей плоскости» - рисунок 3



Рисунок 3 – Создание проекции на виде сверху

Далее необходимо начертить контур (вид сверху) на рабочей плоскости по рабочему чертежу детали (4 рисунок).



Рисунок 4 – Основной контур детали на рабочей плоскости

Следующим шагом после создания контура является выполнение команды «Выдавливание.» Так как команда «Выдавливание» способна создать 3D профиль только при отсутствии самопересечений и внутренних линий, необходимо проверить контур на наличие ошибок командой «Проверка контуров», расположенной на ленте в разделе «Рабочая плоскость» (рисунок 5).



Рисунок 5 – Местонахождение команды «Проверка контуров»

Запустите команду и выберите все контуры на чертеже, после чего нажмите на подтверждение (рисунок 6). В «основных параметрах» данной команды указывается вид и все линии, которые рассматриваются на наличие пересечений.



Рисунок 6 – Рабочее окно команды «Проверка контуров»

Окно «Типы проверок» позволяет выбрать конкретный тип ошибок, рекомендуется выбирать все представленные типы, чтобы не допустить недочётов с чертежом в будущем.

В окне «Результат проверки» выводится надпись "Коллизий нет,, если ошибок не было обнаружено. Если же они есть — как на представленном примере на рисунке 7, то тогда требуется исправить чертёж, устранив пересечения линий. Ошибки будут выделены в квадраты красного цвета (рисунок 8).



Рисунок 7 – Пример найденных ошибок



Рисунок 8 – Обозначение ошибок в чертеже на рабочей плоскости

Если ошибок (коллизий) не было обнаружено, в линейке дополнительных команд необходимо нажать на команду «Завершить» (рисунок 9).



Рисунок 9 – Итоги проверки контуров

Выйдете из рабочей плоскости командой «Завершить» в ленте инструментов во вкладке «Рабочая плоскость» (рисунок 10).



Рисунок 10 — Команда выхода из рабочей плоскости

Следующим шагом построения 3D детали является выполнение команды «Выталкивание профиля». Для этого нажмите правой кнопкой мыши на созданный профиль для его выделения и активации контекстного меню, выполните команду «Выталкивание» (рисунок 11), в настройках данной команды в левой части экрана укажите толщину контура 10 мм (рисунок 12). Таким образом создаётся основа детали (рисунок 13).



Рисунок 11 — Команда «Выталкивание»



Рисунок 12 — Команда «Выталкивание»



Рисунок 13 – Полученная 3D заготовка

После этого требуется дополнить заготовку недостающими элементами, используя команду «Чертить на грани». Нажмите левой кнопкой мышью на верхнюю поверхность заготовки, выбрав и выделив её, и начертите профиль, который выступает из основной заготовки — цилиндр с отверстиями, изображённый на рисунке 14.



Рисунок 14 – Профиль цилиндра

Далее активируйте в ленте инструментов во вкладке «Рабочая плоскость» команду «Штриховка» (рисунок 15), после чего активируйте подкоманду «Заливка» с включенным режимом «автоматического поиска контура» (рисунок 16) и заштрихуйте внутреннюю часть цилиндра. Цвет заливки выбирается вверху рабочего окна *T-FLEX CAD* (рисунок 17).



Рисунок 15 – Местонахождение команды «Штриховка»

× .	2 🗙		4
🕿 Основные пара	аметры		F
Метод заполнения			1
			E C
Бето	н	~	Ē
Параметры			L
Переход цвета: Н	lет	~	Ī
Угол: 0		- A- 	9
Невидимые лини	1		4
😤 Обводка			4
Обводка			
Тип линии:	Основная		
Масштаб штрихов:	[25.4]	- A- - V	
Толщина:	[0.25]	- 4- - 4-	
Цвет:	0=Чёрный	9	
Поверх штрихов	яки		
Дополнительно			

Рисунок 16 – Параметры команды «Штриховка», включение автоматической заливки контура



Рисунок 17 – Выбор цвета заливки

Это действие необходимо для того, чтобы все последующие контура, созданные на данной грани, являлись отдельными элементами 3D чертежа и не зависели друг от друга После этого выполните команду «Завершить» и придайте полученному профилю командой «Выталкивание» высоту согласно рабочему чертежу, которая составляет 15 мм от уже созданного основания.

Используйте команду «Булево сложение» в ленте инструментов для объединения 3D элементов, созданных по контурам, в единое тело детали.

Для этого нажмите на команду и удерживайте нажатие, после чего выберите из дополнительного списка подкоманду «Сложение» (рисунки 18 и 19).

Φai	йл	3D Модель	Чертёж	Сборка	Оформлен	ие Спецификац	ции Параме	тры Из	мерение	Анализ	Редакти
Ð	Осн	овной	v	1/1	Плоскость 🔹	👂 3D Профиль 🍷				🛃 Буле	sa -
₿	0	🗘 Материал	÷		ј.•., ЗD Узел	😅 3D Путь 🔹		- - 7-		📕 По се	мкинан
9	1	Покрытие	-	Чертить	,1→ лск	🛱 3D Сечение	Выталкивание	Вращение	Сглаживани	^{ιe} 🍘 Πο τρ	аектории
		Стиль			Построе	ния			Опе	оации	

Рисунок 18 – Местонахождение команды «Булевы функции»

ии	Парамет	ры Из	мерение	Анали	зР	едактирован	ние	Инстр
				👩 Бу	/лева *	7	Копия	
	5	-		- 6	Сложе	ние	Симмет	рия
Вь	італкивание	Вращение	Сглажива	· •	Вычита	ание	Иассив	*
			Опе	pai 🔳	Пересе	ечение		

Рисунок 19 - Местонахождение подкоманды «Булево сложение»

Далее требуется повторить весь представленный выше алгоритм для дугообразного профиля, выдавив его на величину 20 мм.

Используем команду «Булево сложение» в ленте инструментов для объединения заготовок в единое тело детали.

В результате была получена 3D деталь, полностью соответствующая чертежу, представленная на рисунке 20.



Рисунок 20 – Созданная по профилю 3D деталь

Лабораторная работа 1. Создание 3D модели по чертежу

Задание: Создайте 3D модель детали согласно своему варианту, сохраните файл под именем «Лаб 1 Ваша фамилия».







15

Вариант 2. Создание 3D модели по чертежу



Вариант 3. Создание 3D модели по чертежу









Вариант 6. Создание 3D модели по чертежу



Вариант 7. Создание 3D модели по чертежу







Вариант 10. Создание 3D модели по чертежу



1.2 Создание библиотеки инструментов

Команда создания библиотеки инструментов находится во вкладке «ЧПУ, Редактор инструментов» (рисунок 21). Данная команда позволяет пользователю создавать или редактировать библиотеки, дополняя их различными инструментами с заданными параметрами (рисунок 22).

Сборка	Оформление	Спецификации	Параметры	Измерение	Анализ	Редактирование	Инструменты	Вид	чпу	
Редакто инструмен И	р прта наладии пов инструмента иструмент	30 Зонное 30 Фрезерование Ф	50 Зонное 50 С резерование	н на	резерование 3D резерование 5D резерование кул Обработка	"а Загрузить , ↓= Система к ачка 💰 Параметр	управляющую пр сординат ы обработки	ограмму	NС ⊶∎ программа Вы	е Инитатор обребото год
	•د	Рисунок	21 – Mee	стонахож	сдение ре	едактора и	нструмент	гов	<i>.</i>	
	Т И И И И И И И И И И И И И И И И И И И	ип инструмента Фреза шилиндрич Идентификация ин Имя/номер: Ци Шифр: Ци Комментарий и Параметры Циаметр фрезы (D Радиус скругления Циаметр основани Насота режущей ч	еская аструмента линдрическая из параметров) а (CR) я (F) насти (H)	Расчет ОЦент • Реж. 2 1 4	ная точка тр сферы кромка 0 •	Эскиз	S I I I I I I I I I I I I I I I I I I I			
	2 2 4 4	циаметр хвостови цлина фрезы (L) Скорость подачи: Частота вр. шпинд Число зубъев:	ка (S) целя:	1 8 1 1		— Макс	ИМИЗИРОВАТЬ	+		
	Cn	исок инструменто	B		Копия	Удалить все	Удалить (Оставить	1	
	Т	ип		Имя	Шифр	Положение				
	Д	обавить От	крыть	Из DOCs	Cox	кранить Сохра	нить как	» Закрыть		

Рисунок 22 – Окно редактора инструментов

В открывшемся окне пользователь может выбрать тип инструмента, редактор так же даст возможность настроить его отличительные параметры:

1. Фреза цилиндрическая (рисунок 23). Применяется для торцевого фрезерования.



Рисунок 23 – Фреза цилиндрическая и её параметры

2. Фреза "ласточкин хвост" (рисунок 24) имеет особенность в наличии угла наклона. Применяется для изготовления пазов типа «ласточкин хвост» и «обратный ласточкин хвост» для скрепления или закрепления деталей.



Рисунок 24 – Фреза "ласточкин хвост" и её параметры

3. Сверло (рисунок 25) применяется для центрирования, сверления и рассверливания отверстий. Важным параметром сверла выступает угол заточки, который влияет на скорость врезания в металл.



Рисунок 25 - Сверло и его параметры

4. Резец отрезной (рисунок 26) используется для отделения заготовки от основного металла путём перерезания прутка малого диаметра. Имеет тонкую режущую часть.



Рисунок 26 – Резец отрезной и его параметры

5. Резец резьбонарезной (рисунок 27) применяется для нарезания резьбы на внешней поверхности детали.



Рисунок 27 – Резец резьбонарезной и его параметры

6. Резец проходной (рисунок 28) используется для снятия припуска с поверхности заготовки при обработке на токарном станке. Данные резцы способны снимать большой припуск при черновой обработке или же выполнять чистовую обработку.



Рисунок 28 – Резец проходной и его параметры

Так же редактор инструментов в *T-FLEX* ЧПУ имеет в своём составе фигурные инструменты:

1. Фреза коническая (рисунок 29) применяется для снятия большого слоя металла за один проход при обработке пазов и уступов.



Рисунок 29 – Фреза коническая и её параметры

2. Фреза бочкообразная (рисунок 30) применяется при обработке пазов. Из особенностей можно отметить наличие радиуса скругления.



Рисунок 30 – Фреза бочкообразная и её параметры

3. Фреза базовая (рисунок 31)



Рисунок 31 – Базовая фреза и её параметры

4. Биконическая фреза (рисунок 32)



Рисунок 32 – Биконическая фреза и её параметры

5. Штамп (рисунок 33) может быть выполнен в виде любой геометрической фигуры.



Рисунок 33 – Штамп и его параметры

При создании могут быть заданы все основные параметры инструмента, основываясь на теоретических расчётах, предшествующих обработке. Наиболее важными считаются скорость резания, подача и частота вращения шпинделя, так как эти параметры полностью зависят от материала инструмента и заготовки, а так же возможностей выбранного станка ЧПУ.

В графе «Идентификация инструмента» (рисунок 34) присваивается имя, так же может вводится шифр для упрощения ориентирования в библиотеке с большим количеством инструментов.

Обязательно указывайте идентификацию, чтобы избежать ошибок при выборе инструмента для обработки заготовки. В поле «Имя/ Номер» введите пользовательское название инструмента.

Идентификация инструмента				
Имя/номер:	Имя/номер: Цилиндрическая			
Шифр:				
Комментарий из параметров				

Рисунок 34 – Присваивание имени инструменту

Для начала создания инструмента необходимо выбрать его тип, после чего задать все параметры данного инструмента. В окне «Эскиз» будет показан его внешний вид.

После добавления инструмента в библиотеку командой «В список», он появляется в списке представленных инструментов данной библиотеки (рисунок 35, 1).

Для удаления инструмента требуется выбрать его в библиотеке и нажать на кнопку «Удалить» (рисунок 35, 2).

¥ Редактор инструментов				;
Тип инструмента Фреза цилиндрическая Идентификация инструмента Има/номер: Цилиндрическаяцу Шифр: 123 Скончентарий из паракетров	Расчетная точка С центр сферы () Центр сферы () Реж. кроика	Закиз	S 1	Ť
Параметры Диаметр фрезы (D) Развица осона авина (CD)	20			
Paganye orpyr nenna (city)	16			-
дианетр основания (г)	40 -		CR H	
Пинината хисстаника (S)	10 -		7	
Длина фрезы (1)	80 -			.÷.
		-	Макоимизировать	+
Скорость подачи:	50			
Частота вр. шпинделя:	1000			
Число зубьев:	1		Отненить	В список
Эписок инструментов	Копия	Удалить в	се Удалить	тавить
Twn	Ина Шифр	Положен	ие 🖊 2	
🖞 Фреза цилиндрическая	Цили 1	1		
Фреза цилиндрическая	Цили 2	1		
и фреза цилиндрическая	Цили 123	1		
<				>
Добавить Открыть Из D	00s	Сохранить	Сохранить как	Закрыть

Рисунок 35 – Добавление инструмента в список

Команда «Открыть» позволяет изменять уже собранные библиотеки, открыв список входящих в них инструментов, используя команды, приведённые выше, пользователь может добавлять или удалять инструменты в них.

Параметры (скорость подачи, частота вращения шпинделя и число зубьев) являются паспортными данными для инструмента, обозначающие оптимальные параметры обработки (указываются производителем инструмента), которые вводятся слева от эскиза создаваемого инструмента (рисунок 36). Их ввод приводит к автоматическому заполнению соответствующих полей при выборе инструмента в операции обработки изделия.

Скорость подачи:	50
Частота вр. шпинделя:	1000
Число зубьев:	1

Рисунок 36 – Оптимальные параметры инструмента

Пользователь может изменять масштаб эскиза кнопками масштабирования, которые находятся под изображением создаваемого инструмента (рисунок 37). Нажатие на кнопку «Максимизировать» приводит к установлению стандартного масштаба.





Параметр под названием «Расчётная точка» позволяет указать, какая часть инструмента будет считаться за точку, относительно которой и будет производиться построение траектории обработки (рисунок 38).

При выборе значения «Центр сферы», построение траектории движения инструмента производится для точки внутри тела инструмента, находящейся на удалении половины D от режущей кромки



Рисунок 38 – Выбор расчётной точки

1.3 Ознакомление с фрезерованием в *T-FLEX* ЧПУ

По созданной в главе 1.1 3D модели в качестве примера будет рассмотрено создание траектории фрезерной обработки в *T-FLEX* ЧПУ.

1. Создайте прямоугольную заготовку, полностью включающую в себя 3D модель детали. Для этого используйте команду «Примитив» в «Панеле инструментов» во вкладке «3D Модель» (рисунок 39).



Рисунок 39 - Команда «Примитив»

После чего в выпадающем списке или слева в параметрах укажите геометрическую модель примитива (рисунок 40). Для изготовления представленной выше детали наиболее подходящим является параллелепипед.



Рисунок 40 – Создание тела заготовки из примитива

В параметрах данной команды указываются геометрические размеры объекта, их нужно подобрать таким образом, чтобы деталь полностью входила в тело заготовки, обеспечивая наличие припусков (рисунок 41).

В данной главе представлено лишь общее ознакомление с функционалом программного пакета, поэтому расчётная часть, а именно величины припусков, не учитываются.

Примити	в	μ×	<u></u> 3
	 ✓ ✓ 		\checkmark
\land Основн	ые параметры		PΞ
			×
Длина: 10	0	*	
Ширина: 10	0	*	Ĵî.,
Высота: 10	0	*	•2=⇒ 1^
Куб			
Симметри	я	_	-
	енный элемент		
Толщина:	Нет	\sim	X
Значение:	2	* *	
Донышко	2	*	N Y
Крышка:	2	×	¶₽ ^z
\land Преобр	азования	»	
👗 103 мм		4	1
		- +	Ē
		+	
			4

Рисунок 41 – Параметры примитива

В графе «Основные параметры», кроме геометрических размеров есть следующие дополнительные функции и окна:

Куб — Создание тела производится только по его длине.

Симметрия — Продлевает размеры создаваемого тела за грань, на котором располагается это тело.

Тонкостенный элемент — Созданный объект будет полым, отсутствие граней регулируется следующими за данной опцией строками.

В окне преобразования указываются все перемещения созданного тела в пространстве. Отсчёт ведётся от глобальной системы координат (рисунок 42).



Рисунок 42 — Преобразования тела

После того, как вы создали приметив, удовлетворяющий условие полного включения в себя детали, сделайте его полупрозрачным, чтобы было гораздо удобнее с ним работать.

Для этого в дереве построений требуется активировать соответствующую команду. Если данное дерево скрыто, то его можно развернуть, нажав на его значок (рисунок 43).



Рисунок 43 — Раскрытие дерева построений

В открывшемся дереве найдите тело примитива — заготовки и измените его отображение, нажав на изображение куба у имени этой заготовки (рисунок 44).



Рисунок 44 — Опция полупрозрачного тела

Если же вам нужно сделать объект полностью прозрачным, то для этого нажмите на соседний значок отображения (рисунок 45).



Рисунок 45 — Опция сокрытия тела

Таким образом получаем деталь, помещённую в тело заготовки, что представлено на рисунке 46.



Рисунок 46 – Деталь внутри заготовки

Если по какой — либо причине деталь частично выпирает, то вам требуется или удалить тело заготовки и создать его заново, или, если её размер позволяет, переместить деталь и заготовку относительно друг друга. Данное действие выполняется командой «Преобразование».

Для активации команды нажмите правой кнопкой мыши на тело в дереве построений и выберите её из появившегося списка (рисунок 47). Она позволяет переместить тело в пространстве относительно глобальной системы координат, или повернуть объект вокруг любой из осей.



Рисунок 47 – Преобразование тела

2. Необходимо задать параметры обработки, указав взаимоотношения детали и заготовки. Выполняем это командой «ЧПУ, Параметры обработки» (рисунок 48).



Рисунок 48 – Местонахождение команды «Параметры обработки»

Первым нажатием указываем тело заготовки — выберем примитив. Вторым — деталь, которую необходимо получить. Оба этих тела будут помещены в соответствующие поля в «Параметрах обработки» (рисунок 49).



Рисунок 49 – Настройка «Параметров обработки»

В поле «Траектория» указывается название данной операции, это необходимо для быстрого ориентирования в списке всех операций.

После выбора двух тел — заготовки и детали, вы можете указать тела оснастки, они будут помещены в соответствующие дополнительные поля в «Параметрах обработки» (рисунок 50).

🔉 Заданная геометрия				
Заготовка:	🗇 Параллелепипед_2	\times		
Деталь:	🗇 Параллелепипед_1	\times		
Оснастка				
Паралл	елепипед_2			

Рисунок 50 — Указанные тела оснастки

Далее в поле «файл с инструментами» добавьте библиотеку инструментов, созданную заранее. При невыполнении данного действия нам будет необходимо постоянно ссылаться на данный файл (рисунок 51).

Параметры обраб	$h \times$				
× .	×				
🙁 Параметры					
Траектория: Параметры	обработки				
Припуск заготовки :	0.1				
Клиренс РИ/ПР:	1				
Допуск на зарез:	0.1				
Точка смены инструг	чента —				
X: 0 Y: 0 3	Z: 0				
Файл с инструментом ——					
Заготовка по габаритан д	етали: —				
Параллелепипед ()Цилиндр				
Осьцилинара: 🔿 🗙 🔿 Ү 🔿 Z					
🖈 Заданная геометрия					
Заготовка: 🛄 Выбрать элемент					
Деталь: Выбрать элемент					

Рисунок 51 — Добавление библиотеки инструментов
В настройках обработки так же выбираются припуски заготовки и допуски за зарез в деталь при обработке и координату места смены инструмента на небольшом удалении от заготовки при наличии автоматического барабана у станка ЧПУ или же место, достаточное для свободных манипуляций с патроном станка при отсутствии данного барабана, то есть ручной переустановки инструмента (рисунок 52).

Припуск заготовки :	0.1
Клиренс РИ/ПР:	1
Допуск на зарез:	0.1
Точка смены инструм	ента —
X: 0 Y: 0 2	2: 0

Рисунок 52 — Поля указания припуска и допуска на зарез

Так же укажите, какой формой является заготовка для представленной детали — параллелепипед или цилиндр, выбрав ось у последнего.

3. После того, как взаимоотношения заданы, можно начать создавать траектории обработки, первой операцией снимите припуск с верхней грани заготовки. По взятому примитиву, выступающему телом заготовки припуск на обработку равен 5 мм.

4. Используем команду «ЧПУ, Зонное 3D фрезерование, Обработка кармана» (рисунок 53), необходимо «Выбрать тело», после чего «Выбрать грань». Выберите тело заготовки и потом её верхнюю грань, после чего в поле «Инструменты» выберите заранее созданную цилиндрическую фрезу (рисунок 54). Если данного инструмента в библиотеке нет, создайте и добавьте его.



Рисунок 53 — Местонахождение команды «Обработка кармана»

Обработка кармана	4 × 🚺
🗸 🕺 🗙	
🕱 Параметры траектории	<u>^</u>
Траектория: Обработка кармана 1	
Файл с инструментом	
C:\Users\Admin\Desktop\TTICI	
3	- F
Инстр-т	4
Ускорен, подача: 1000	- 1 🥒 (
Рабочая подача: Миумин 50	2 - 6
Рабочая подача по 2:	2
Припуск: 0	
Включить охлаждение	Ť
Вращение шпинделя	4
по часовой О против часовой	(C
Частота: об/мин 200	L L
	*
🙁 Параметры прохода	
Тип прохода	6
3ursar 🗸	
Подъен инструмента:	τ
○В абсол. ⑧ В прир. 5	5
ОШаг прох.: 10	
Выс. гребешка: 0	
Перекрытие: 0.5	

Рисунок 54 — Последовательность настройки команды

В строке «Файл с инструментами» указан путь, по которому находиться библиотека, привязанная на этапе задания параметров обработки. Если данный

путь не прописан или требуется другая библиотека, то это необходимо сделать вручную.

Так же возможно в окне «Менеджера обработок» изменить параметры обработки, привязав или отвязав библиотеку.

После того, как обрабатываемое тело, его грань и инструмент выбраны, выбираем параметры обработки, указав рабочую подачу, частоту вращения шпинделя, а так же «Параметры съёма» — величины, которые указывают, какой припуск будет снят на данной операции (рисунок 55).

Инстр-т:	<		
Ускорен. подача:	000		
Рабочая подача: мм/мин 5	i0		
Рабочая подача по Z:		_	
Припуск: 0)	🖈 Параметры съема	
Включить охлаждение		Толщина: 0	0
Воашение шлинделя		Шаг углубления: mm	10
по часовой Опротив ча	совой	Боковой отступ:	0
Частота: об/мин 2	200	Напр. проходов (град.):	0

Рисунок 55 — Параметры обработки

Так как выбрана верхняя грань заготовки, то припуск и боковой отступ необходимо указывать отрицательными, первая величина указывает заглубление в металл, а вторая то, на сколько инструмент будет выходить в сторону от этой грани, что необходимо для отведения стружки и более качественного удаления припуска по краям обрабатываемой грани.

После этого вы должны выбрать траекторию обработки в соответствующем окне, траектория принимается наиболее подходящая к конкретной операции среди всех представленных (рисунок 56).

Подъём инструмента — величина, на которую между операциями будет удаляться инструмент, рекомендуется указывать в абсолюте, указав в поле величину, превосходящую высоту детали с запасом, во избежание случайного зареза. Параметр «Перекрытие» указывает, на сколько виток траектории близок с предыдущему, указывается в диапазоне от 0 до 1, выбирайте значение близкое к 1 при чистовой обработке детали.

홌 Параметры пр	охода		
—Тип прохода —			
Зигзаг		\sim	
Подъем инструм	ента: ——		
🔾 В абсол. 💿 В пр	оир. 5		
⊖Шаг прох.:	10		
Выс. гребешка:	0		
Перекрытие:	0.5		

Рисунок 56 — Настройка траектории обработки

В *T-FLEX* ЧПУ представлены следующие траектории обработки (рисунок 57):

Зигзаг 🗸 🗸
Зигзаг
Зигзаг с пр. обходом
Зигзаг с обходом
Петля
Двойная петля
Спираль наружу
Спираль внутрь

Рисунок 57 — Виды траекторий

После полной настройки траектории примите введённые параметры командой «Закончить ввод» справа от параметров (рисунок 58). В итоге будет построена траектория обработки, изображённая на рисунке 59.



Рисунок 58 — Подтверждение команды



Рисунок 59 – Полученная траектория фрезерной обработки

Красный цвет траектории указывает контакт режущего инструмента с металлом, снятие с него припуска.

Следующим шагом добавим бирюзовую траекторию — перемещение фрезы. Для этого в Менеджере обработок нажмите два раза на созданную операцию Обработка кармана или ваше название данной операции.

Для этого в окне настройки операции, в подпункте «Параметры прохода» можно выбрать типовые варианты прохода, формирующие траекторию, а также указать высоту «Подъёма инструмента». Рекомендуется брать не менее 10 мм над верхней гранью заготовки во избежание случайных зарезов при перемещении инструмента. Подъём инструмента указываем в соответствующем пол, измерение при этом производится от выбранной грани или в абсолюте, при котором функция отмеряет значение от рабочей плоскости.

Следующим пунктом обработки идёт вытачивание элементов детали:

Для начала фрезеруем профиль, используя команду «Зонное 3D фрезерование, Карандашная обработка», которое находится во вкладке ЧПУ (рисунок 60). После этого выберите тело детали, после этого функцию «Выбрать ребро» и выделяете ребро на верхней грани дугообразного

профиля, так же указываете инструмент из библиотеки инструментов (рисунок 61).



Рисунок 60 — Местонахождение команды «Карандашная обработка»

карандашная обработка	4 × 🔟
 K K	\checkmark
🔋 Параметры траектории	n p=
Topowronyce: Kopowspie oficializat	
Райл с инструментон	
C:\Users\Admin\Desktop\TTICI	×
3	
Инстрите	LQ,
Ускорен. подача: 1000	1
Рабочая подача: РИ/мин 50	
Рабочая подача св.2:	
O Designed D	- 4/ 🗇
Включить охлаждение	
-вращение шпинделя	10
По часовой Опротив часовой	. Q.
Частота: 06/жин 200	a
🙎 Параметры прохода	L.
Тип прохода	
3arsar ∨	
Подъен инструмента:	6
UB abcon. (B) B npxp. 5	`a
Параметры съема	— F
Топарны: 0 0	5
War yrwyfinesau: mm 10	9
δοκοφοй οτοτγπ: 0	
Hanp. npoxogos (rpag.): 0	-6-
QUINTO KONTVOOR	/

Рисунок 61 — Параметры «Карандашной обработки»

В «Параметрах съёма» указывается величина, равная -20 мм, для того чтобы фреза вошла в металл, в противном случае траектория создастся над

профилем. Укажем безопасный подъём инструмента, чтобы он учитывался для начала последующей операции.

Отличительной особенностью срезания большого объёма металла является необходимость врезания инструмента. В «Менеджере обработки» нажатием правой кнопки мыши по только что добавленной туда операции заходим в функцию «Врезание» (рисунок 62), включив её, выбираем «По первой линии траектории» (рисунок 63).



Рисунок 62 — Дополнительные параметры операции обработки

Вра	зание				- Ų
	~	•	Ē.	×	
	Тараметре	st	-	-	
]Волочить п врезания		1	_	
B	готорос от	верстие	•		
0	ю произвол	ьной динии		2	
\odot	ю пересій л.	нын транс	repen 🗧		
0	о спирали				
OII	о контуру				
-11,0	-tp.orweart	пов (понки			
R,	0	- A -	0		
Тип	перехода и	2 709-1025	Gi		
08	aboun.	🛞 В прир	ou.		
\neg	трезокаре	0.010		_	
R.	0	. A.	10		
A1	u	42	10		
- 12	CINCIPLINE	разания			
Dask.	онна итера.	181-1	1		
<u></u> 4nir	a speci, / o	to apos	0.5		
	ленитро	exceptors:	10		
	ESS INC IDV	обходе -		_	
Ersf	HEN HENDING	URG .	1		
STRP	a spessi i o	TO-BORS-F	0.5		
Для	а стр. орся	San History	10		
-те	иналат-мес	же порож	тры —		
	kopotrie no.	ANNO:	50		
	астота вр.	шпинделя:	1000		
В	инторая ин	терполяци	н	_	

Рисунок 63 — Дополнительные параметры операции обработки

Необходимо добавить подвод и отвод инструмента для данной операции, активируются они в «Менеджере обработки» нажатием правой кнопки мыши, в

стоке координаты z указываем высоту безопасного подъёма инструмента, рекомендуется указать больше высоты заготовки и ещё 30 мм для беспрепятственного доступа к инструменту (рисунок 64).

Точка подвода означает место, с котором окажется инструмент в начале данной операции.

Точка отвода — точку. Куда инструмент перемещается при окончании операции.



Рисунок 64 — Параметры Подвода и отвода инструмента

После выполнения всех основных и дополнительных настроек на отображаемой в рабочем окне 3D модели появятся дополнительные линии траектории, которые так же учитывают врезание в металл, дополнительно появятся бирюзовые линии — безопасное перемещение инструмента.

Итоговый результат изображён на рисунке 65.



Рисунок 65 – Полученная траектория после карандашной обработки

Следующим шагом является вытачивание профиля цилиндра. Для этого требуется снять припуск над его верхней гранью командой «Обработка кармана» на глубину 5 мм с боковым отступом (рисунок 66), равным 10 мм и последующей «Карандашной обработкой» по грани на глубину 15 мм (рисунок 67).

Как выполнять данные команды подробно рассмотрено выше. Для того, чтобы скрывать или активировать определённые траектории, в «Менеджере обработки» нужно нажать правой кнопкой мыши на интересующую операцию и нажать на строку «Видимая» - это приведёт не только к скрытию траектории, но так же она не будет учитываться в «Имитаторе обработки» (рисунок 68).



Рисунок 66 – Траектория после обработки кармана на 5 мм. Остальные траектории скрыты



Рисунок 67 – Траектория после карандашной обработки на глубину 15 мм



Рисунок 68 – Выключение отображения траекторий

Следующим шагом требуется фрезеровать отверстие в центральной части детали, предварительно сняв припуск. Ввиду сложной формы обрабатываемой поверхности потребуется создание дополнительной грани — начертите её в центре детали, используя команду «Чертить на грани». Подробно эта команда была рассмотрена выше, в главе «Создание 3D модели по чертежу».

Для этого используем команду «Зонное 3D фрезерование, Обработка кармана», выбираем тело детали и выбираем дополнительно созданную грань ввиду сложной формы обрабатываемого участка (рисунок 69).





Командой «Зонное 3D фрезерование, Обработка кармана», телом выберите саму деталь, а также только что созданный профиль через подкоманду «Выбрать профиль» (рисунок 70). Добавьте инструмент, основные параметры обработки, безопасную высоту инструмента и укажите глубину резания согласно чертежу. Так же добавьте подвод и отвод.

Обработка кармана 4	١×	<u>@</u> 1				
< 🖾 🗙		\checkmark				
🕱 Параметры траектории	^	PE				
раектория: Обработка кармана 1		-				
C:Wsers/Admin/Deskton/TTICI		\mathbf{x}				
		\sim				
Инстр-т: 🗸						
/скорен. подача: 1000	1	a				
Рабочая подача: ММ/МИН 50						
абочая подача по Z:		O				
рипуск: 0		5				
Включить охлаждение 2						
Врашение шпинделя						
Опо часовой Опротив часовой		O				
Частота: об/мин 200		Ţ				
	_					
🙎 Параметры прохода						
Тип прохода		o P				
Спираль наружу 🗸		2				
Подъен инструмента:						
Оварсол. @Вприр. 5		(L)				
Ullar npox.: 10		D,				
🖲 выс. пребешка: 0						
Терекрытие: 0.5		-4-				

Рисунок 70 – Траектория после карандашной обработки на глубину 15 мм

После всех настроек и принятия команды будет построена траектория, изображённая на рисунке 71.



Рисунок 71 – Полученная траектория

Создаём новый профиль для центрального отверстия, повторив все предыдущие шаги, используя команду «Обработка кармана по профилю» (рисунок 72). При возникновении вопросов изучите алгоритм настройки и выполнения данной команды выше.



Рисунок 72 – Траектория обработки центрального отверстия

Для того чтобы вырезать деталь по контуру, требуется команда «Карандашная обработка» в «Зонном 3D фрезеровании». Выбрав тело детали, используйте подкоманду «Выбрать ребро» (рисунок 73) и выделите рёбра по краю заготовки, рекомендуем выбирать рёбра внизу детали для удобства выделения всего контура.

A	Карандашная	обра	ботка		‡ ×	Ø *
luon.	× .	Í	0	×		\checkmark
	🙁 Параметры тра	аектор	ии		^	PΞ
5	Траектория: Карани	дашная	обработ			-~
	 Файл с инструмен 	том —				
	C:\Users\Admin\Des	ktop\TN	וס			X
	Инстр-т:		~			D.
	Ускорен. подача:		1000			a
	Рабочая подача: М	м/мин	50			
	Рабочая подача по 2	Z;				Ø
	Припуск:		0			
	_				1	
	Включить охлаж	дение				-
	—Вращение шпинде	ля —				1
	⊙ по часовой О г	ротив	асовой			Ĵ2
	Частота: 0	б/мин	200			a
						L TX

Рисунок 73 – Фрезерование по грани

При этом учитываем, что программа сама может активировать поворот инструмента, чтобы этого не произошло, в «Параметрах обработки» в окне «Поворот инструмента», величина z указывается равной 1 для того чтобы фреза не меняла рабочую плоскость на произвольную (рисунок 74).

\land Поворот инструмента							
X: 0 Y: 0	Z: 1						
—Углы поворота ———							
Ось Z;	0						
○ Ось X:	0						

Рисунок 74 – Настройка положения фрезы

В параметрах съёма указываем 8 мм, обработка не до конца необходима для того, чтобы избежать перемещение детали в процессе дальнейшей обработки (рисунок 75).

🔊 Параметры съема						
Толщина: 8	0					
Шаг углубления: mm	10					
Боковой отступ:	0					
Напр. проходов (град.):	0					

Рисунок 75 – Настройка снимаемого припуска

1.4 Настройка и работа с «Имитатором обработки»

Активируем команду «Имитатор обработки» в «Панеле инструментов» (рисунок 76).

ſ	Спецификации	Параметры	и Изме	рение	Анализ	Редактирование	Инструменты -	Вид	чпу			
	30 30 Фрезерование	50 Зонное 50 Фрезерование	I∏50 Ceepnerine 50	ing Φρα ing Φρα ΠρΦρα	зерование 3D зерование 5D зерование кул	б∎Загруанть Досистема к ачка тейПараметр	управляющую прог зоординат ы обработки	i muy	NC Ц Ц Управляю програ	2	<u>601</u> 7 ? Построцессо	р Машинные циклы
					Обработка					Вывод	Упраs	ление

Рисунок 76 - Местонахождение «Имитатора обработки»

T-FLEX обладает мощным визуализатором *NC Tracer* для построения моделей с учётом траекторий обработки.

Рабочая зона «Имитатора обработки» (рисунок 77) разделена на несколько окон:

Верхняя панель — на неё вынесены основные команды управления отображением, а также его настройка.

«Менеджер обработок» - в нём перечислены все созданные нами операции.

Так же присутствует окно с управляющей программой для ЧПУ станка, данный код транслирован через встроенный постпроцессор, поэтому нужно учитывать, что на большинстве станков он будет выполняться некорректно, однако допустимо добавление собственных постпроцессоров и транслирование кода под конкретный станок.

Управляющая программа написана в *G*-коде, но вы так же можете извлечь первичный код *CLDATA* в случае необходимости. Об этом в данном методическом пособии расписано не будет ввиду необходимости большого количества дополнительной информации.

Так же есть окно визуального отображения обработки изделия.



Рисунок 77 – Рабочие окна «Имитатора обработки»

Как видно из рисунка, визуализатор понимает, где находится тело заготовки, а где оснастка, однако, если всё отображается одним цветом, то визуализатору потребуется настройка (рисунок 78 и рисунок 79).



Рисунок 78 – Команда настройки «Имитатора обработки»

Настройки имитатора	×				
Инструмент Все Деталь Заготовка Оснастка Цвет реж. Цвет не реж. Траектория Погасить контур траектории Полько кадры зарезов Включить обрезку Количество кадров для анинации: 4					
Включить обрезку 3D сцены					
Ось Х Шир	ина: 10				
Ось Ү Шир	ина: 10				
Ось Z	ина: 10				
Скорость имитации	Разбить заготовку				
Точность визуализации					
	0.1				
Прохождение дуг окр. целиком ОК	Отмена				

Рисунок 79 – Окно настройки «Имитатора обработки»

Для настройки требуется указать «Инструмент» -всё, установить галочки у полей «Деталь», «Заготовка», «Оснастка», так же указав цвета, чтобы отличать их между собой при отображении процесса обработки.

Окно «Обрезка 3D сцены» позволяет отображать конкретную область по глобальной системе координат.

Скорость имитации рекомендуется выбирать в середине шкалы, так как чрезмерное увеличение скорости имитации может привести к ошибкам визуализации процесса.

Точность визуализации рекомендуется оставлять стандартную, так как её повышение существенно нагружает компьютер.

После того, как «Имитатор обработки» настроен, можем визуализировать весь процесс фрезерования заданной детали, предварительно включив отображение всех траекторий, убеждаемся, что фрезерование тела детали происходит без зарезов в материал (без наличия красных зон на теле детали) (рисунок 80).



Рисунок 80 – Полученная заготовка

Если же зарезы присутствуют, то определите, при выполнении какой операции они возникают и настройте ей, меняя боковой отступ, или же смените инструмент на более подходящий, в случае необходимости создав его и добавив в используемую библиотеку.

Лабораторная работа 2. Ознакомление с операцией «Фрезерование» в модуле *T-FLEX* ЧПУ

Задание: По вышеуказанной методике разработайте процесс получения детали из заготовки согласно варианту из лабораторной работы 1.

1.5 Ознакомление со сверлением в *T-FLEX* ЧПУ

Так как в создаваемой детали присутствуют отверстия, то вам требуется решить, на каком этапе обработки заготовки они будут выполнены:

1. После полного изготовления детали и отделения её от корпуса, с последующем закреплением её уже для сверления — не рекомендуемый метод, так как происходит смена баз, что несомненно приведёт к уменьшению точности изготовления. Применяется в случае массового производства или на станках с малым или отсутствующим магазином инструментов.

2. Просверлить отверстия после обработки верхней грани — наиболее предпочтительный способ, но подходит больше для единичного или мелкосерийного производства.

Временно отключите отображение всех операций в «Менеджере обработок» (правой кнопкой мыши по команде и убрать галочку в строке «Видимая») кроме первой операции «Обработка кармана», которая при выполнении снимает припуск с верхней грани заготовки, и запустим имитатор обработки (рисунок 81).



Рисунок 81 — Операция, после которой будем производить сверление двух отверстий большего диаметра

Перед началом сверления создайте два сверла, одно диаметром D/2, а второе D отверстия. Одно будет использовано для сверления, а второе для рассверливания. Сохраните их в библиотеке инструментов.

Во вкладке «ЧПУ» выберите «Сверление 5D» и подпункт «Сверление 5D» (рисунок 82).

Calls 30 Mojacra Vepribe Chopes Odjoj	ралания Стадофикация Парамитры Измарания Аналии Радастирования Инструманты Валатор 479
Собрание и и и и и и и и и и и и и и и и и и	ин 2 10 2 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10
– Сверление 5D	් " taxanne 3 Opuneepgth X @]* D Jerans 1 □□Opunerrane
	✓ × ⊕⊕ ⊈ ⊕ € :
Параметры пресктории Транствоча: Солонные 501 Алл с инструментов	- 30 (Derpessen [14] 1 1 1 1 10 (potente [6] - Bebouer Borecone [6] Becurepay
Provide and a second se	
Parto una nografia: Indikum 52	B Pr 3 211 B Sneverine opopularina [3]
Tpenyot: D	Upper b Transmission and the second second (44) (b) t b Manaparana (1) and b Comparana (5)
Braker Action Contraction Brakesterik Organisa keceselik Hachara objitak 123	

Рисунок 82 — Местонахождение операции «Сверление 5Д»

Первой операцией является непосредственно сверление, поэтому выберите грань детали на дугообразном профиле, на которой расположены отверстия, *T*–*FLEX* самостоятельно считает глубину и диаметр.

В окне выбора инструмента укажите сверло меньшего диаметра, «Номер цикла» — Сверление. Вертикальное смещение укажите = от 1 до 1,5 мм. Это необходимо, чтобы избежать не проточки отверстия. Закончите ввод команды и проверьте на Имитаторе обработки полученный результат (рисунок 83).

•	Сверление 5D	4×	<u>@</u> *
Пиагн	✓		\checkmark
INCTI	🖹 Параметры траектории	^	PΞ
1Ka	Траектория: Сверление 5D1		2
	Файл с инструментон		2
	C:\Users\Admin\Desktop\TTTCI		X
	2		
	Инстр-т: Сверло 8мм[1] 🗸 🗸		
	Ускорен. подача: 1000	1	
	Рабочая подача: ММ/МИН 50	-	
	Рабочая подача по Z:	-	
	Припуск: 0		"en
	Включить охлаждение		
	Вращение шпинделя		<u>ل</u>
	по часовой Опротив часовой		
	Частота: об/мин 1000		A
		_	-4-
	🔝 Параметры сверления 5D		-
	—Номер цикла		
	Сверление 🗸 🚽 3		
	Вертикальное смещение: 1		

Рисунок 83 — Настройка операции сверления

В случае, если всё выполнено правильно, создайте ещё одну команду Сверление 5D, выбрав эти же отверстия, но используйте сверло диаметра D, и «Номер цикла» — так же сверление. Глубину рассверливания берите таким образом, чтобы сверло вышло с другой стороны, при этом не повредив абстрактную оснастку (принята такой для упрощения пояснения функционала в данной главе).

В результате правильного выполнения вы должны получить результат в «Имитаторе обработки», показанный на рисунке 84.



Рисунок 84 — Результат сверления и рассверливания

Важно: Если по какой-либо причине сверло в «Имитаторе обработки» начинает «летать» по своему желанию, то это можно исправить, включив в операции сверления в графе «Поворот инструмента» команду «Вектор инструмента» и установив z = 1 (рисунок 85).

🔉 Поворот инструмента				
Вектор инструмента В ЛСК -				
X: 0 Y: 0	Z: 1			
—Углы поворота				
OCH Z:	0			
Ось Х: ⊚Ось Ү:	0			

Рисунок 85 — Устранение свободного перемещения инструмента

После этого по алгоритму выше постройте траектории для сверления и рассверливания отверстий в цилиндрическом барабане у рассматриваемой детали.

Учитывайте, что для сверления этих отверстий потребуется создание двух дополнительных свёрл разных диаметров, а так же данные операции сверления

нужно добавить только после обработки соответствующего участка над цилиндром, после снятия с его верхней грани припуска (рисунок 86).



Рисунок 86 — Порядок операций при сверлении

Итоговый результат фрезерной обработки и сверления представлен на рисунке 87.



Рисунок 87 — Сравнение полученной детали с 3D моделью, созданной по чертежу

После извлечения заготовки из станка ЧПУ рабочему остаётся только извлечь деталь, разрубив тонкий слой металла.

Важно: Большинство методов, рассматриваемых в лабораторных работах в главе «Общее ознакомление» не применимы на реальном производстве. Они рассмотрены только для того, чтобы научить Вас основному функционалу *T-FLEX*.

Лабораторная работа 3. Ознакомление с операцией «Сверление» в модуле *T-FLEX* ЧПУ

Задание: Выполните рассмотренные в примере операции, после чего примените их для сверления отверстий на своих заготовках согласно варианту, проверьте результат, включив «Имитатор обработки». Удостоверьтесь, что параметры полученной детали соответствуют указанным в чертеже.

1.6 Ознакомление с нанесением гравировки в *T-FLEX* ЧПУ

Операцию нанесения гравировки требуется начинать с выбора подходящего инструмента. Для этих целей подходит цилиндрическая фреза и нулевым радиусом скругления с малым диаметром, который выбирается в зависимости от объёма снимаемого материала, а также ширины линии, если гравировка представляет из себя текст. Так же требуется задать новые «Параметры обработки» — особенностью гравировки является то, что тело заготовки и тело детали это одно и то же тело.

Для нанесения гравировки текста на поверхности изделия требуется создать профиль текста. Написание текста возможно только при команде «Черчение на грани» у выбранного объекта — рисунок 88.



Рисунок 88 — Команда «Черчение на грани»

Команда «Текст» находится в «Панели инструментов» в графе «Рабочая плоскость» (рисунок 89).



Рисунок 89 — Команда «Текст»

Созданный текст можно редактировать и форматировать. Команда «Редактировать в отдельном окне» позволяет пользователю использовать привычный интерфейс работы с текстом, схожий с большинством текстовых редакторов (рисунок 90).



Рисунок 90 — Настройки команды «Текст»

После работы с текстом получаем итоговый результат, профиль которого создаётся на грани детали (рисунок 91).



Рисунок 91 — Надпись на теле детали

После этого, находясь в команде «Черчение на грани», перейдите во вкладку «ЧПУ, Гравировка, Гравировка текста» (рисунок 92).



Рисунок 92 — Команда «Гравировка текста»

Выбрав в качестве инструмента заранее созданный гравер, обязательно укажите в «Параметрах детали» в графе «Высота плоскости обработки» = 0, в противном случае траектория обработки создастся на удалении от заготовки и гравировка нанесена не будет.

Нажмите на текст, чтобы по нему автоматически построилась траектория, после чего выйдете из черчения на грани. Построенная траектория представлена на рисунке 93.



Рисунок 93 — Построенная траектория

Запустите Имитатор обработки и удостоверьтесь, что гравировка наносится корректно (рисунок 94).



Рисунок 94 — Результат операции

В случае, если вы хотите выгравировать какое — либо художественное изображение, предпочтительнее использовать фрезерование кармана по созданному заранее профилю.

На этом заканчивается глава «Общее ознакомление», в ходе изучения которой вы должны научиться базовым функциям и командам *T-FLEX CAD* и *T-FLEX* ЧПУ.

Следующая глава максимально приближена к реальному производству и требует расчётов каждой создаваемой операции для станка с ЧПУ. По этой причине чертежи и задания минимизированы, но требуют большого внимания к расчётной части.

Лабораторная работа 4. Ознакомление с операцией «Гравировка» в модуле *T-FLEX* ЧПУ

Задание: Постройте примитив любой геометрической формы, на одной из его граней создайте профиль надписи: ФИО, группа, вариант, после чего выполните гравировку на глубину 2 мм.

Продемонстрируйте преподавателю процесс нанесения гравировки и конечный результат.

2 Производственные расчёты и их применение при создании траекторий обработки в системе *T-FLEX CAM*

2.1 Расчёт операции фрезерование для создания управляющих программ

Фрезерование – процесс обработки поверхностей многолезвийным инструментом – фрезой на фрезерных станках. Главное движение (v) при этом виде обработки резанием производится вращением фрезы, а движение подачи (s) осуществляется поступательным перемещением заготовки (рисунок x). На горизонтально-фрезерных станках ось вращения фрезы расположена горизонтально, а на вертикально-фрезерных – вертикально, но может поворачиваться на угол $\pm 45^{\circ}$ в вертикальной плоскости.

Фрезерование является высокопроизводительным методом формообразования поверхностей деталей многолезвийным режущим инструментом - фрезой. Для этого метода характерно непрерывное главное вращательное движение инструмента и поступательное движение заготовки.

Фрезерование бывает двух видов:

Попутное фрезерование (фрезерование по подаче) – это способ, при котором направление движения заготовки совпадает с вектором скорости резания.

Встречное фрезерование (традиционном фрезеровании) скорость резания и движение подачи заготовки направлены в противоположные стороны.

В зависимости от направления движения стола фрезерного станка могут быть реализованы разные подачи: продольная, поперечная и вертикальная.



Рисунок 95 — Технологические поверхности при фрезеровании 1 – обрабатываемая поверхность; 2 – поверхность резания; 3 – обработанная поверхность; 4 – заготовка; 5 – фреза

Тип применяемой фрезы определяется конфигурацией обрабатываемой поверхности (рисунок 95). Её диаметр для сокращения основного технологического времени выбирается по возможности наименьшей величины с учётом схемы резания, формы и размеров обрабатываемой заготовки.

При торцовом фрезеровании (рисунок 96 б) диаметр фрезы D должен быть больше ширины фрезерования В и может приниматься по формуле : D = (1,25 - 1,5)B, мм.



Рисунок 96 — Виды фрез: a) фрезы цилиндрические; б) фрезы торцевые; в) фрезы дисковые; г) фрезы концевые

Глубина фрезерования *t* и ширина фрезерования *B* — величины, связанные с размерами снимаемого слоя. Параметр *t* измеряется в направлении, перпендикулярном оси фрезы (за исключением торцового фрезерования). Ширина фрезерования измеряется перпендикулярно глубине.

Глубина резания при припуске на обработку до 5 мм, как правило, принимается равной последнему. В противном случае назначается несколько проходов. При чистовом фрезеровании, чаще всего *t* = 1-1,5 мм.

При фрезеровании различаются подача на один зуб фрезы S_z , мм/зуб; подача на один оборот $S_o=S_z z$ мм/об и минутная подача $S_m=S_z n z$ мм/мин, где n - частота вращения фрезы, 1/мин; z - число зубьев фрезы. При черновом фрезеровании исходной величиной подачи является подача на зуб $S_z=S_o/z$. В таблицах 22 — 25 Приложения указаны подачи для различных условий.

Скорость резания определяется по формуле:

$$V_p = rac{C_{v}*D^{q}}{T*m*t^{x}*S_{z}^{y}*B^{u}*z^{p}}K_{v}$$
м/мин,

где *K_v* — общий поправочный коэффициент; *T* — период стойкости фрезы, мин.

Значения Cv и показателей степени приведены в таблицах 26, 27 Приложения, а период стойкости T в таблице 28 Приложения.

Общий поправочный коэффициент на скорость резания:

$$K_{v} = K_{MV} * K_{\Pi V} * K_{UV},$$

где K_{mv} — коэффициент, учитывающий обрабатываемый материал; K_{nv} — коэффициент, учитывающий состояние поверхности; K_{uv} — коэффициент, учитывающий материал инструмента. Значения данных коэффициентов приведены в таблицах 8 — 10 Приложения.

Коэффициент К_м рассчитывается по формулам:

при обработке стали $K_{MV} = \left(\frac{750}{\sigma_V}\right)^{\Pi V};$ при обработке серого чугуна $K_{MV} = \left(\frac{1900}{HB}\right)^{\Pi V};$ при обработке ковкого чугуна $K_{MV} = \left(\frac{1900}{HB}\right)^{\Pi V},$

где σ_V - предел прочности материала заготовки, Мпа; *HB* — твёрдость материала заготовки, Мпа.

При обработке медных сплавов принимать $K_{\text{мv}} = 1,7 - 2,0$, а при обработке алюминиевых сплавов — $K_{\text{мv}} = 0,8 - 1,2$.

После расчёта скорости резания, определяется частота вращения шпинделя:

$$n_p = \frac{1000 * V_p}{\pi * D}$$
мин,

где *D* — диаметр фрезы, мм.

Значение n_p корректируется по паспортным данным принятого станка и принимается ближайшая меньшая ступень n_{ct} так, чтобы $n_{ct} \le n_p$. В дальнейших расчётах используется только n_{ct} .

После корректировки частоты вращения шпинделя, определяется фактическая скорость резания:

$$V_{\Phi} = \frac{\pi * D * N_{\text{CT}}}{1000} \text{мин},$$

В дальнейших расчётах используется только V_{ϕ} .

Сила резания. Главная составляющая силы резания при фрезеровании — окружная сила, Н:

$$P_Z = \frac{10*C_P * t^X * S_Z^Y * B^U * Z}{D^q * n_{CT}^W} * K_{MP},$$

где $K_{\rm мp}$ - поправочный коэффициент на качество обрабатываемого материала, приведён в таблице 13 Приложения.

После расчёта *P_z* устанавливается возможность её реализации на вы бранном станке.

Для этого определяется сила *P_x*, которая сравнивается по паспорту станка с допустимой силой подачи *P_x* доп.

Для цилиндрических дисковых, прорезных и отрезных фрез $P_x = (1, 1 - 1, 2)P_z$, а для торцовых $P_x=(0, 3-0, 4)P_z$.

Необходимо, чтобы $P_x \leq P_x$ доп.

Мощность резания, кВт. Вначале рассчитывается эффективная мощность резания:

$$N_{\mathfrak{Z}} = \frac{P_Z * V_{CT}}{1020 * 60}$$

а затем определяется потребная мощность на шпинделе станка:

$$N_{\Pi} = \frac{N_{\Im}}{\eta}$$
, KBT,

где *η* — КПД станка.

Для выводов об эффективности рассчитанных режимов устанавливается коэффициент использования станка по мощности:

$$K=\frac{N_{\Pi}}{N_{CT}},$$

где *N*_{ст} — мощность главного электродвигателя станка, кВт.

Значения K не должны превышать единицы. Наиболее рациональное значение K = 0.85 - 0.9.

В случае существенного отклонения коэффициента от рациональных величин, расчёт режимов следует осуществить вновь, скорректировав при этом параметры, принимаемые автором (*t*, *S*, тип станка и др.).

Основное технологическое время определяется по формуле:

$$T_0 = \frac{L}{S_M} * i, \text{ мин},$$

где *L* — расчётная длина обрабатываемой поверхности, мм; *S*м — минутная подача, мм/мин; *i* — число проходов.

$$L = l + l_1 + l_2$$
, MM,

где l - чертёжная длина обрабатываемой поверхности, мм; l_1 - величина врезания, мм: при фрезеровании цилиндрической и дисковой фрезами $l_1 = \sqrt{t(D-t)}$; а при фрезеровании торцовой фрезой — $l_1 = D$. l_2 — величина перебега, мм: при использовании цилиндрической и дисковой фрезы $l_2=2$ — 5 мм; при торцовой — $l_2=2$ — 4 мм.

В качестве примера рассмотрим получение из заготовки (куб с размером 100 мм) детали с обработкой верхней грани и последующим фрезерованием паза (рисунок 97). Примем, что внешние стороны заготовки обработаны и могут быть приняты в качестве базовых поверхностей.



Рисунок 97 — Чертёж требуемой детали

Шероховатость после обработки $R_Z = 25$. Материал заготовки — алюминий. Для обработки цветных металлов рекомендуется использовать твердосплавные инструменты.

Создайте библиотеку инструментов, добавив туда фрезу с диаметром 10 мм, сохраните библиотеку под именем «Инструменты фрезерование».

Далее создайте 3D деталь на основе чертежа из задания. Поверх неё создайте примитив, заготовку, из которой и будем фрезеровать готовое изделие. Кроме этого создайте два параллелепипеда по сторонам заготовки, они будут обозначать положение оснастки — рисунок 98. Используя команду ЧПУ Параметры обработки, укажите отношения между объектами.


Рисунок 98 — Графическое отображение отношений тел

На рисунке 98 представлено взаимоотношение объектов при обработке:

- Зелёным цветом тело заготовки
- Жёлтым цветом тело детали
- Синим цветом зажимное приспособление, например машинные тиски

В ленте операций выберем «Зонное 3D фрезерование». В открывшейся ленте доступных функций в операции нужно выбрать «Обработка кармана» - рисунок 99.



Рисунок 99 — Местонахождение команды «Обработка кармана»

В открытом окне «параметры траектории» в поле с названием «файл с инструментом» нужно указать путь к файлу, который называется «Инструменты фрезерование». Выберем недавно созданную фрезу — рисунок 100.

Обработка кармана				
	\checkmark			×
🔊 Параметры траектории				
Траектория:	Обработка	а кармана	1	
Файл с ин	струментом			
C:\Users\A	dmin\Desktop	TIDCI		
			_	
Инстр-т:	Цилиндрич	еская	\sim	

Рисунок 100— Выбор инструмента

Командами «Выбрать тело» выделите тело заготовки, командой «Выбрать грань» верхнюю её грань (рисунок 101). Далее требуется произвести расчёт и ввести полученные данные в окно «параметры траектории».

Обработка кармана 🛛 🖡 🗙	<u>@</u> `
 ✓ × 	\checkmark
🔊 Параметры траектории \land	PΞ
Траектория: Обработка карнана 1	-
C:\Users\Admin\Desktop\TTCI	×
Инстр-т: Цилиндрическая 🗸	đ,
Ускорен. подача: 1000	a
Рабочая подача: ММ/МИН 50	
Рабочая подача по Z;	
Припуск: 0	6
Включить охлаждение	
-Вращение шлинделя	Ľ,
по часовой Опротив часовой	a
Частота: об/мин 1000	C*
	*
О Параметы прохода	
	_6
Спираль наружу	
Подъем инструмента:	10
В абсол. В прир. 5	P
Ollar npox.: 10	
	0
• Выс. гребешка: 0	٥
Перекрытие: 0.5	-13-

Рисунок 101 — Порядок выбора тел при «Обработке кармана»

Для изготовления детали был выбран фрезерный станок с ЧПУ SVL-1055 (рисунок 102) с частотой вращения шпинделя до 10 000 об/мин и мощностью двигателя 7.5 кВт.



Рисунок 102 — ЧПУ станок SVL-1055

Согласно справочным данным при фрезеровании алюминиевого сплава фрезой с диаметром 8-10 мм, наиболее целесообразная подача на зуб S_z будет составлять 0.075 мм/ об, а скорость резания V примем = 100 м/ мин, z = 1, фрезу использовать однозаходную, чтобы избежать налипания алюминия на неё.

Скорость подачи рассчитаем по формуле:

 $S = f_z \times z \times n$ (мм/мин)

fz = Sz - подача на один зуб фрезы (мм);

z - количество зубьев;

n - скорость вращения (об/мин);

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times d} \text{ (об/мин)}$$

d – диаметр режущей части инструмента (мм);

рі – число Пи, постоянная величина = 3.14;

V – скорость резания (м/мин) - это путь, пройденный точкой режущей кромки фрезы в единицу времени;

По расчётам получаем, что n = 3184 об/ мин.

Ввиду особенностей T- Flex можно не рассчитывать скорость подачи, вычислив только подачу на зуб S_z и переключив единицы рабочей подачи. Программа сама вычислит необходимые данные. Однако для примера всё же рассчитаем её:

S = 238.8 мм/мин;

После чего введите полученное значение в соответствующее поле настройки операции «Обработка кармана» - рисунок 103.

Ускорен. подача:	1000		
Рабочая подача:	мм/мин	239	

Рисунок 103 — Поле ввода подачи

Ускоренная подача используется при свободном перемещении инструмента между операциями.

Выбор фрезерного станка на основании расчётов

Для определения мощности, затрачиваемой при фрезеровании, необходимо определить главную силу Рz кГс (окружную силу) по приближенной формуле :

где В – ширина фрезерования, мм; sz – подача на один зуб (мм/зуб); Ср – эмпирический коэффициент (Ср $\approx 39...80$ в зависимости от условий фрезерования, $Pz = Cp * B * sz^{0.75}$ определяется из табличных данных).

Эффективная мощность Nэф, $Pz = 45 * 50 * 0.075^{0.75} = 322.5$ кГскВт:

V – скорость резания (м/мин) - это путь пройденный точкой режущей

$$N_{3\phi} = \frac{P_z v}{60 \cdot 120}$$

кромки фрезы в единицу времени;

Рz - (кГс) Окружная сила, вычисленная по предыдущей формуле. $N \ni \phi = \frac{322.5*100}{60*120} = 4.48$ Квт

Тогда необходимая мощность станка (при КПД = 0,85):

Nэл. двиг. = Nэ ϕ/nu = 4.48/0.85 = 5.6кВт

После выполнения расчётов можно убедиться, что выбранный станок ЧПУ SVL-1055 полностью подходит для выполнения поставленной задачи и мощности его двигателя достаточно для изготовления изделия.

Дополнительные настройки и создание траекторий обработки

Так же включите подачу СОЖ в процессе резки, чтобы избежать налипания алюминия на инструмент.

Тип прохода выберем зигзаг с прямым обходом, как наиболее подходящий для обработки верхней грани. Его использование исключает необработанные участки, подъём инструмента в абсолютах = 120 мм — рисунок 104.

🖹 Параметры пр	рохода		
—Тип прохода —			1
Зигзаг с пр. обход	ом	 	
Подъем инструм	ента:		
💿 В абсол. 🔘 В пр	оир. 120	-	2
○Шаг прох.:	10]	
BB1		1	
Выс. гребешка:	0		
Перекрытие:	0.5]	

Рисунок 104 — Выбор типа прохода

Толщина съёма — величина припуска = 3 мм, указывается в правом поле, обозначающем «Снятие толщины под выбранной гранью» с отрицательным знаком. По справочным данным шаг углубления принимается равным 0.3 мм.

Боковой отступ примем -2 мм, чтобы исключить наличие необработанных областей по краям заготовки, так как траектория теперь выходит за границы детали, соответствующие поля для ввода представлены на рисунке 105.

\Lambda Параметры съема					
Толщина: 0	-3 🛀	1			
Шаг углубления: mm	0.3	2			
Боковой отступ:	-2				
Напр. проходов (град.):	0	3			
Фильтр контуров					
Bce	~				
Плоскость 2.5D					
● Попутное фр. ○ Встречное фр.					
🗹 Оптимизированный отступ					
Открытый карман					

Рисунок 105 — Поле параметров съёма

В обязательном порядке указывается вектор поворота инструмента z =1, если мы обрабатываем верхнюю грань, чтобы избежать свободных перемещений инструмента между осями и ошибочного формирования управляющей программы в связи с этим — рисунок 106.

🔉 Поворот инструмента					
x: 0 Y: 0	Z: 1				
—Углы поворота					
Ось Z:	0				
Ось Х: 💿 Ось Ү:	0				

Рисунок 106 — Поле положения инструмента

Запустите процесс имитации, чтобы удостовериться, что всё выполняется корректно и не требуются какие — либо изменения — рисунок 108.



Рисунок 107 — Построенная траектория



Рисунок 108 — Результат фрезерной обработки

На рисунке 108 цифрой 1 обозначена концевая фреза, которой выполнялась операция, цифрой 2 — обработанная поверхность, цифрой 3 зажимное устройство, в которое помещена заготовка 4.

Следующей операцией будет снятие металла в соответствии с чертежом в размер 77 мм от измерительной базы — рисунок 109.



Рисунок 109 — Величина, до которой требуется фрезеровать

Выполняем повторно все расчёты как для предыдущей операции:

Скорость подачи рассчитаем по формуле:

$$S = f_z \times z \times n$$
 (мм/мин)

Где fz = Sz - подача на один зуб фрезы (мм); z - количество зубьев; n — скорость вращения (об/мин);

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times d}$$
 (об/мин)

Где d – диаметр режущей части инструмента (мм); pi – число Пи, постоянная величина = 3.14; V – скорость резания (м/мин) - это путь пройденный точкой режущей кромки фрезы в единицу времени;

По расчётам получаем, что n = 3184 об/ мин. Рассчитаем скорость подачи: S = 238.8 мм/мин;

Ускорен. подача:	1000	
Рабочая подача:	мм/мин	239

Рисунок 110 — Поле ввода подачи

Как и на предыдущей операции включим охлаждение, чтобы избежать налипание алюминия на инструмент.

Тип прохода выберем зигзаг с прямым обходом, подъём инструмента такой же как в предыдущей операции укажите в абсолютах и примите 120 мм.

Толщина съёма — величина припуска = 20 мм. Боковой отступ подбирайте таким образом, чтобы получаемая модель максимально соответствовала чертежу при одновременном отсутствии зарезов в металл модели. По справочным данным шаг углубления принимается равным 0.3 мм — рисунок 111.

🔉 Параметры съема					
Толщина: 20	0				
Шаг углубления: mm	0.3				
Боковой отступ:	0				
Напр. проходов (град.): 0					
—Фильтр контуров ————					
Bce 🗸					
 ✓ Плоскость 2.5D					
◉Попутное фр. ○Встречное фр.					
🖸 Оптимизированный отступ					
Открытый карман					

Рисунок 111 — Поле параметров съёма

В обязательном порядке опять же указывается вектор поворота инструмента z =1, если мы обрабатываем верхнюю грань, чтобы избежать свободных перемещений инструмента между осями и ошибочного формирования управляющей программы в связи с этим — рисунок 112.

\Lambda Поворот инструмента					
— Вектор инструмента — в ЛСК -					
x: 0 Y: 0	Z: 1				
—Углы поворота ———					
Ось Z;	0				
○ Ось Х:	0				

Рисунок 112 — Поле положения инструмента

Запустите повторно процесс имитации, чтобы удостовериться, что всё выполняется корректно и не требуются какие — либо изменения.



Построенная траектория представлена на рисунке 113.

Рисунок 113 — Траектория обработки паза

В итоге вы должны получить деталь, изображённую на рисунке 114.



Рисунок 114 — Деталь, полученная в результате фрезерования

Лабораторная работа 5. Выполнение операций «Фрезерование» в модуле *T-FLEX* ЧПУ, с учётом расчётов режимов резания

Задание: Создайте 3D деталь согласно рабочему чертежу вашего варианта. Создайте примитив, который будет использоваться в качестве заготовки.

Выполните расчёт режимов резания для каждой операции.

Используйте данные расчёты для построения траекторий фрезерной обработки детали.

Используя «Имитатор обработки» проверьте полученный результат.

Вариант 1. Фрезерование с расчётом режимов резания





Вариант 2. Фрезерование с расчётом режимов резания







Вариант 3. Фрезерование с расчётом режимов резания



Вариант 4. Фрезерование с расчётом режимов резания



Вариант 5. Фрезерование с расчётом режимов резания



Вариант 6. Фрезерование с расчётом режимов резания



Вариант 7. Фрезерование с расчётом режимов резания







Вариант 8. Фрезерование с расчётом режимов резания



Вариант 9. Фрезерование с расчётом режимов резания







Вариант 10. Фрезерование с расчётом режимов резания



2.2 Расчёт операции сверление для создания управляющих программ

Сверлильные операции на станке ЧПУ — это получение и обработка отверстий на оборудовании с числовым программным управлением.

Наиболее распространёнными технологическими операциями по формированию и обработке круглых отверстий являются сверление, зенкерование и развёртывание.

Сверление — это основной способ получения отверстий. Инструмент, с помощью которого выполняется операция сверления называется сверлом.

Припуск, снимаемый сверлом при сверлении или рассверливании может достигать половины диаметра выбранного сверла.

Зенкерование предназначено для обработки предварительно просверленных отверстий или отверстий, изготовленных способами литья или штамповки.

При зенкеровании достигается более высокая точность по форме и размеру, чем при сверлении.

Стандартные зенкеры имеют от трёх до восьми зубьев. На практике чаще всего используются зенкеры с тремя винтовыми зубьями, смещёнными на 1200 относительно друг друга.

Зенкер снимает припуск, гораздо меньше припуска, снимаемого при сверлении. Он составляет десятые или сотые доли миллиметра.

Развёртывание — технологический способ завершающей обработки просверленных и зенкерованных отверстий с целью получения точных по форме и диаметру цилиндрических отверстий с малой шероховатостью.

Развёртки имеют чётные (z 4) число зубьев, расположенных диаметрально друг против друга. Каждым зубом срезается слой малой толщины, что и даёт возможность получения высокой точности.

Развёртка снимает припуск от тысячных до сотых долей миллиметра.

Для придания отверстию нужной формы или для формирования фасок используется инструмент, носящий название зенковка. Зенковка с плоской головкой называется цековка.

Практическая часть.

В качестве примера рассмотрим получение из заготовки (параллелепипед с размерами 100 мм х 100 мм х 200 мм) детали с двумя отверстиями (рисунок 115). примем, что внешние стороны заготовки обработаны и могут быть приняты в качестве базовых поверхностей.



Рисунок 115 — Заготовка и деталь

Из рисунка 114 видно, что внутри отверстия диаметром 50 ± 0.1 мм находится ещё одно, диаметром 10 ± 0.1 мм. Внутренняя шероховатость широкого канала $R_Z = 25$.

Материал заготовки — алюминий. Для обработки цветных металлов рекомендуется использовать твердосплавные инструменты.

Сначала создаётся 3D – модель заготовки, детали и оснастки (рисунок 116), в качестве которой выступают губки машинных тисков.



Рисунок 116 — Модели заготовки, детали и оснастки

На рисунке белым цветом изображено тело заготовки, бирюзовым — модель детали с отверстием. Они находятся друг в друге, поэтому на рисунке видно наложение их цветов. Красным цветом изображено зажимное устройство.

Создадим библиотеку сверлильных инструментов, в которую включим:

- сверло с диаметром режущей части 10 мм, высотой режущей части 100 мм, общей длиной сверла 200 мм, диаметром хвостовика 9 мм и углом заточки 120°. дадим ему имя: «сверло 10»;
- сверло с диаметром режущей части 49.9 мм, высотой режущей части 65 мм, общей длиной сверла 140 мм, диаметром хвостовика 50 мм и углом заточки 120°. дадим ему имя: «сверло 49.9»;
- сверло с диаметром режущей части 49.9 мм, высотой режущей части 65 мм, общей длиной сверла 140 мм, диаметром хвостовика 50 мм и углом заточки 180°. Это сверло будет выполнять роль цековки. Дадим сверлу имя: «цековка 49.9»;
- сверло с диаметром режущей части 50 мм, высотой режущей части
 65 мм, общей длиной сверла 140 мм, диаметром хвостовика 50 мм и

углом заточки 180°. Это сверло будет выполнять роль зенкера для чернового зенкерования. Дадим ему имя: «зенкер 50»;

В результате получился список инструментов, приведённый на рисунке 117.

Ти	n	Имя	Шифр	Положение
\$	Сверло	Свер		1
\$	Сверло	Свер		1
\$	Сверло	цеко		1
\$	Сверло	зенк		1

Рисунок 117 — Библиотека инструментов

Сохраним файл с полученной библиотекой под именем: «Библиотека инструментов сверление».

Перейдём во вкладку ЧПУ и в параметрах обработки укажем тело заготовки, тело детали и тело оправки (рисунок 118).



Рисунок 118 — Параметры обработки

На этом рисунке зелёным цветом показано тело заготовки, жёлтым — тело детали, а синим оснастка (зажимное приспособление, например машинные тиски).

В параметрах обработки слева так же можно указать файл с созданной библиотекой инструментов. Тогда ко всем создаваемым траекториям обработки заготовки будет привязана эта библиотека. При необходимости её можно будет менять для каждой новой траектории.

Сформируем отверстие диаметром 10±0.1 мм и длиной 100±1 мм.

Так как требований по шероховатости нет, можно выполнить операцию сверления в один проход.

Для сверления указанного отверстия скроем тело заготовки, чтобы оно не мешало обзору, нажав на значок глаза рядом с обозначением операции в дереве операций (рисунок 119).



Рисунок 119 — Скрытое состояние тела заготовки

В ленте операций выберем «сверление 5D». В открывшейся ленте доступных операций в ленте, открывшейся на месте дерева проведённых операций, тоже нужно выбрать операцию «сверление 5D».

В открытом окне «параметры траектории» в поле с названием «файл с инструментом» нужно указать путь к файлу, который называется «Библиотека инструментов сверление». В окне «инстр-т» в открывшемся списке нужно выбрать необходимый инструмент: сверло 10 (рисунок 120).

Траектория:	Сверление 5D1	
—Файл с инк	струментом	
D:\OneDrive	Рабочий стол С	1.12
Инстр-т:		
Инстр-т:	Сверло 10	
Инстр-т: Ускорен. по	Сверло 10 Сверло 49.9	
Инстр-т: Ускорен. по, Рабочая под	Сверло 10 Сверло 49.9 цековка 49.9	

Рисунок 120 — Выбор инструмента

Согласно справочным данным при сверлении алюминиевого сплава с твёрдостью менее 1700 НВ сверлом с диаметром 8-10 мм, наиболее целесообразная подача будет составлять 0.4 мм/об. Приведённое значение справедливо для глубины сверления менее 3-х диаметров сверла. При требуемой глубине сверления необходимо ввести поправочный коэффициент К = 0.75. В данном случае будет иметь место подача 0.3 мм/об. Поправочный коэффициент К выбирается из таблицы 1.

Таблица 1— Выбор поправочного коэффициента К

Глубина отверстия 1, мм	$l \le 5D$	$l \le 7D$	1≤10D
Поправочный коэффициент К	0.9	0.8	0.75

В области «рабочая подача» нужно нажать 2 раза на единицы измерения, чтобы вводимое значение было в мм/об. В поле значений нужно указать 0.3.

Обычные спиральные свёрла снимают припуск до половины своего диаметра, поэтому в поле значений «припуск» нужно указать значение 5 мм.

Для расчёта частоты вращения шпинделя, нужно сначала определить скорость резания:

$$V_p = \frac{C_{\nu} * D^q}{T^m * S^{\gamma}} * K_{\nu},$$

где D – диаметр свела; Kv - общий поправочный коэффициент; Cv – коэффициент, полученный при наблюдении во время опытов.

Значения коэффициентов C_v и показателей степени приведены для сверления в таблице 2 или в таблице 18 приложения.

Подача	$C_{\rm V}$	q	У	m
≤0.3	36.3	0.25	0.55	0.125
>0.3	40.7		0.40	

Таблица 2 — Значения коэффициентов С_v и показателей степени

Для алюминиевого сплава, который обрабатывается в данном случае, и для выбранной подачи, равной 0.3 мм/об, *T* – период стойкости сверла, *t* – глубина сверления, значения переменных будут равны:

D = 10 мм; $C_v = 36.3;$ q = 0.25; y = 0.55; m = 0.125 T = 25 мин; S = 0.3 мм/об.

Значения периода стойкости инструмента при обработке чугуна, медных и алюминиевых сталей при сверлении и рассверливании приведены в таблице 3 или в таблице 20 приложения.

Таблица 3 — Значения периода стойкости

		Диаметр инструмента				
Материал инструмента	До 5	6-10	11 —	21 - 30	31 - 40	41 — 50
			20			
Быстрорежущая сталь	20	25	60	75	105	140
Твёрдый сплав	15	25	45	50	70	90

Общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания определяется по формуле:

$$K_{\nu} = K_{MV} * K_{UV} * K_{lV};$$

где K_{MV} — коэффициент на обрабатываемый материал; K_{UV} — коэффициент на инструментальный материал; K_{IV} — коэффициент, учитывающий глубину сверления; коэффициент K_{MV} рассчитывается следующим образом:

$$K_{MV} = \left(\frac{150}{HB}\right)^{n\nu};$$

HB — твёрдость материал заготовки, МПа;

Показатели коэффициентов *K*_{lv} и *K*_{uv} для выбранного материала заготовки и инструмента взяты из справочной литература и равны. Они приведены в таблице 8 и 10 приложения:

$$K_{lv} = 0.55;$$

 $K_{uv} = 0.6;$
 $nv = 1.3.$
Таким образом, мы имеем:
 $K_{Mv} = 4.1;$
 $K_v = 1.353;$
 $V_p = 16$ м/мин.

Теперь можно рассчитать требуемую частоту вращения сверла по формуле:

$$n_p = \frac{1000 * V_p}{\pi * D};$$

n_p = 500 об/мин.

В параметрах сверления 5D (рисунок 121) в поле «вертикальное смещение» оставляем значение нуля (1). В

Номер цикла	_			
Сверление	~	/		
Вертикальное смещение:	0		_ 1	L
Диам, глуб, канала:	5			
Глубина глуб. канала:	99.84		- 2	2
Диаметр торцовки:	20			
Глубина торцовки:	25			
Диаметр рас, отверстия;	10			
Глубина рас, отверстия;	10			
Глубина пред. торцовки:	20			
Припуск:	5			
Длина врезания:	10			
Угол врезания:	0			
Z - смены инструмента:	450			
Z - поворота:	350			3
Z - безопасности:	10			
Опоч.с Опротив ч	4.C			4
Коррекция на радиус:	0			

Рисунок 121 — Параметры сверления

Глубину канала выставляем равной 99.84 мм (2). Это объясняется тем, что система автоматически добавляет 0.16 мм к глубине сверления при визуализации операции, поэтому при указании глубины сверления — это нужно делать на 0.16 мм меньше.

Z поворота оставляем без изменений (3), а Z безопасности (4) — это та высота, на которую поднимется инструмент после завершения операции. Этот параметр выставляем в 10.

Изначально можно выбрать грань, которую необходимо обрабатывать. Нужно убедиться, что в столбике выбран пункт «выбрать грань». Выбираем самую верхнюю грань детали (рисунок 122).



Рисунок 122 — Выбор обрабатываемой грани

После выбора грани утверждаем все выбранные параметры нажатием на зелёную галочку в интерактивном столбце.

Меню выбора параметров обработки закрылось, а на детали появилась линия, вдоль которой будет двигаться инструмент во время обработки — траектория обработки. Сформированная траектория движения сверла приведена на рисунке 123.



Рисунок 123 — Траектория обработки

В итоге операции должна получиться заготовка, чертёж которой приведён на рисунке 124.



Рисунок 124 — Результат первой операции

Следующим шагом надо рассверлить отверстие в диаметр 50 мм. Это будет сделано в несколько шагов: рассверливание отверстия на длину 50 мм в диаметр 49.9 мм, выравнивание дна рассверленного отверстия цековкой диаметром 49.9 мм и черновое зенкерование рассверленного отверстия, чтобы получить требуемую шероховатость $R_Z = 25$ и диаметр отверстия 50 мм.

При рассверливании рабочая подача выбирается в 2 раза больше, чем для сверления сверлом выбранного диаметра, а снимаемый припуск указываем 20.

Формула расчёта скорости резания для рассверливания и зенкерования будет несколько отличаться:

$$V_p = \frac{C_v * D^q}{T^m * t^x * S^y} * K_v$$

Значение коэффициентов C_V и степени приведены в таблице 19 приложения.

Частота вращения шпинделя будет рассчитываться также, как и для сверления.

В данном случае глубина канала указывается 50.

В качестве плоскости обработки выступает та же верхняя плоскость детали.

Траектория рассверливания частично совпадёт с траекторией предыдущего сверления, так как отверстия находятся на одной оси.

Результат рассверливания приведён на рисунке 125.



Рисунок 125 — Заготовка с рассверленным отверстием

Следующим шагом проведём цекование — выравнивание дня отверстия. Формулы для расчётов режима резания используем те же, что и при рассверливании.

Грань обработки выберем ту же, что и до этого. Глубину канала укажем 50.05 мм.

Параметры заготовки после цекования приведены на рисунке 126.



Рисунок 126 — Заготовка после цековки

Последним этапом проведём зенкерование. По указанным выше законам нужно рассчитать режимы резания, а снимаемый припуск указать 0.1 мм.

Глубина канала 0.05 мм.

В результате заготовка должна принять вид детали, приведённой на рисунке 1.

Правильность указанных параметров можно проверить с помощью имитатора обработки. В верхней ленте инструментов нужно нажать на пункт «имитатор обработки». В настройках нужно указать, чтобы было видно только заготовку и оснастку (рисунок 127).

Тело детали было скрыто для чистоты эксперимента. После выполнения всех указанных шагов обработки будут произведены замеры параметров получившегося тела. На рисунке 125 цифрой 1 обозначено сверло, которым выполнялась операция, цифрой 2 — заготовка, которая помещена в тиски 3.

			1
Іастройки имитатора	×	<	
Инструнент Все	✓ Оснастка Цвет ↓ <		2
Траектория			
Погасить контур траектории Полько кадры зарезов			
Включить обрезку Количество кадров для анинации	: 4		
Включить обрезку 3D сцены			
Ось Х Ширина	: 10		
Ось У Ширина	: 10		
Ось Z Ширина	: 10		
Скорость инитации	ить заготовку		
Точность визуализации			
_	0.1		
OK OK	Отмена		

Рисунок 127 — Настройки имитатора обработки

Далее нужно нажать кнопку «старт» и подождать, пока не пройдёт все этапы обработки. Их можно отслеживать по столбцу машинных циклов в левой части рабочего пространства.

После выполнения всех шагов обработки, нужно нажать на кнопку «создать модель и выйти». Перед Вами появится да деталь, которая получилась в результате выбранной обработки.

Перейдя на вкладку «3D модель» и выбрав в ленте инструментов инструмент «размер» нужно измерить получившиеся величины: диаметры и глубины полученных отверстий. Результат измерений приведён на рисунке 128.


Рисунок 128 — Полученные параметры

По рисунку 128 можно сделать вывод, что параметры были выбраны верно, так как получившиеся размеры соответствуют требуемым.

Шероховатость не представляется возможным проверить, так что количество проходов, нужный инструмент и снимаемый им припуск необходимо уточнять в справочной литературе.

В тех случаях, когда на одной плоскости находится несколько отверстий разного диаметра или разной глубины, после выбора плоскости, на которой находятся эти отверстия, нужно использовать фильтр диаметров или фильтр глубин (рисунок 129).

Фильтр диаметров						
От: 0	До:	1000				
🛛 Фильтр глубин						
От: 0	До:	1000				
Глубина						
🔾 Фиксированная	(Авто				

Рисунок 129 — Фильтр диаметров и фильтр глубин

Работают эти фильтры следующим образом: указываются диапазоны значений диаметров и глубин отверстий, к которым нужно применить выбранный режим резания. Те отверстия, которые не будут соответствовать введённым параметрам, будут проигнорированы системой и могут быть сформированы или обработаны в следующий заход.

В приведённом примере траектория движения сверла не пересекается с расположением зажимных устройств. Но бывают случаи, когда на траектории перемещения сверла, построенной системой автоматически, может оказаться тело оснастки. Это может произойти, например, в случае использования кондуктора в качестве зажимного устройства заготовки.

Чтобы избежать повреждения инструмента или оснастки нужно задать безопасное расстояние подвода и отвода инструмента.

В *T-FLEX* расстояния указываются для расчётной точки, которая была указана ранее, в данном случае — для кончика режущей часть инструмента, следовательно, в поле ввода безопасного значения подвода/отвода достаточно указать на сколько миллиметров нужно удалить кончик инструмента вверх, чтобы при перемещении он не цеплялся за зажимное устройство.

Чтобы попасть в меню выбора подвода/отвода инструмента, в менеджере обработок нужно правой кнопкой мыши нажать на ту обработку, подвод/отвод которой необходимо указать и выбрать в открывшемся списке «подвод/отвод». Далее, поставив галочку для активации возможности указать координату перемещения инструмента, нужно указать координаты, в которые нужно отвести инструмент перед или после выполнения операции, чтобы при переходе от предыдущей операции или к следующей операции не произошло столкновения инструмента и тела оснастки (рисунок 130).

X:	0	Vx:	0
Y:	0	Vy:	0
Z:	0	Vz:	0
	OTO	туп: mm	0
lep	емещения	1	
npv	ращения	¢	~
ium.	и Послел	ORATORNA	CTh
ип	и Послед	овательно	сть —
Гип 0_G	и Послед	овательно	сть — 2ХҮ
Гип 0_G	и Послед 1 — Гочка отво	овательно	сть — 2 О Z_XY лск —
Гип 0_G 了1 К: [и Послед 1 — Гочка отво 0	овательно	сть — z Oz_XY лск — 0
Гип 0_G 了1 К: [r: [и Послед 1 Гочка отво 0 0	овательно	сть zхү лск 0 0
Гип 0_G 7 1 7: [7: [2: [и Послед 1	овательно	сть — z _ z_xy лск — 0 0 0
Гип 0_G (: [(: [2: [и Послед 1 ~ Гочка отво 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	овательно () XY_2 Ода () XY_2 () X	сть z _ z_xy лск 0 0 0 0 0
Гип 0_G 7 Т 1: [:]ер	и Послед 1 Гочка отво 0 0 Отс емещения	овательно	сть лСК 0 0 0 0
Гип 0_G 7 Т 7: [7: [Лер	и Послед 1 Гочка отво 0 0 0 отс виещения	овательно	сть z ○ z_xy лск 0 0 0 0 0
ип : [: [и Послед 1 Гочка отво 0 0 0 отс аращения	овательно	сть z ○ z_xy лск 0 0 0 0 ~ ~

Рисунок 130 — подвод/отвод инструмента

После того, как параметры обработки рассчитаны и указаны, нужно проверить, возможно ли получить рассчитанные параметры на том станке с ЧПУ, который планируется использовать для выполнения данной операции.

Для выполнения этой операции примем Сверлильный станок с ЧПУ Завод ВСК-50Ф3 со следующими параметрами:

частота вращения шпинделя: 31.5 — 1400 м/об;

мощность двигателя: 3 кВт;

максимальный диаметр сверления: 50 мм.

По частоте вращения шпинделя и максимальному диаметру сверления данные согласуются.

Для расчёта требуемой мощности резания нужно сначала рассчитать крутящий момент и осевую силу по формуле:

$$M_{kp} = 10 * C_{M} * D^{q} * S^{y} * K_{p};$$

$$P_{O} = 10 * Cp * D^{q} * S^{y} * K_{p};$$

где См и Ср - коэффициенты, учитывающие условия резания, значения которых, а также значения показателей степени приведены в таблице 21 приложения и равны:

 $C_{M} = 0.005;$

y = 0.8;

Cp = 9.8;

Коэффициент Кр в данном случае зависит только от материала заготовки и определяется выражением: Кр = Кмр и приведён в таблице 13 приложения. В данном случае она равен:

Кр = 1.

По полученным значениям вычисляется эффективная мощность, требуемая для совершения операции и потребная мощность, которую должен иметь станок.

Эффективная мощность вычисляется по формуле:

$$N_{\mathfrak{Z}} = \frac{M_{\kappa p} * n_{\mathrm{CT}}}{9750} \kappa \mathrm{BT};$$

А чтобы найти потребную мощность, надо разделить полученное значение эффективной мощности на КПД станка, значение которого у современных средств производства примерно составляет 0.8.

Значения параметров будет равно:

Мкр = 1.9 Нм;

$$Po = 3.74 * 10^3;$$

 $N_{\Im} = 0.098 \text{ kBt};$

 $N_{\Pi} = 0.12$ кВт.

Эта мощность более, чем удовлетворяет тем условиям, которые может позволить достичь станок Завод ВСК-50Ф3. Поэтому сверление отверстия длиной 100 мм и диаметром 10 мм возможно осуществить на выбранном станке.

При рассверливании и зенкеровании применяются формулы:

$$M\kappa p = 10*C_M*D^{q*t}X*S^{y*}Kp;$$

$$P_{O} = 10 * Cp * t^{X} * S^{y} * K_{p};$$

Значения коэффициентов и показателей степени приведены в табл. 12 приложения.

Для разработки качественного технологического процесса получения детали необходимо произвести расчёт каждой операции.

Для определения крутящего момента при развёртывании каждый зуб инструмента можно рассматривать как расточной резец. Тогда при диаметре развёртки D крутящий момент устанавливается:

$$M_{\kappa p} = \frac{C_{p} \cdot t^{\kappa} \cdot S_{z}^{\gamma} \cdot D \cdot z}{2 \cdot 100} H_{M},$$

где Sz- подача, мм на 1 зуб развёртки, равная S/z; z - число зубьев развёртки; S = Sct - принятая подача, мм/об.

После расчётов всех параметров резания и формирования траекторий движения инструмента, нужно сформировать управляющую программу, чтобы в дальнейшем загрузить её в станок ЧПУ.

Лабораторная работа 6. Выполнение операций «Сверление» в модуле *T-FLEX* ЧПУ, с учётом расчётов режимов резания

Задание: Создайте 3D деталь согласно рабочему чертежу вашего варианта. Создайте примитив, который будет использоваться в качестве заготовки.

Выполните расчёт режимов резания для каждой операции.

Используйте данные расчёты для построения траекторий сверления.

Используя «Имитатор обработки» проверьте полученный результат.

Вариант 1. Сверление с расчётом режимов резания



Вариант 2. Сверление с расчётом режимов резания



Вариант 3. Сверление с расчётом режимов резания





Вариант 5. Сверление с расчётом режимов резания



Вариант 6. Сверление с расчётом режимов резания





Вариант 7. Сверление с расчётом режимов резания



Вариант 8. Сверление с расчётом режимов резания



Вариант 9. Сверление с расчётом режимов резания









2.3 Расчёт операции точение для создания управляющих программ

Точение (токарная обработка) - наиболее распространённый метод обработки поверхностей деталей типа тел вращения на токарных станках. Основные виды токарных работ: обработка наружных цилиндрических и конических поверхностей, обработка пазов и уступов, вытачивание пазов и канавок, отрезка заготовок, сверление, зенкерование, развёртывание, нарезание резьб, обработка фасонных поверхностей, накатывание рифлений и др. На рисунке 131 приведена технологическая схема точения.



Рисунок 131 — Технологическая схема точения

Вращательное движение заготовки называется главным движением резания, а поступательное движение режущего инструмента - движением подачи.

Подачей (мм/об) называется (рис. 131) путь, пройденный режущей кромкой инструмента относительно вращающейся заготовки. Подача может быть продольной, если инструмент перемещается параллельно оси вращения заготовки, и поперечной, если инструмент перемещается перпендикулярно этой оси.

При прорезании пазов и отрезании величина поперечной подачи зависит от свойств обрабатываемого материала, размеров паза и диаметра заготовки.

Глубина резания t(мм) определяется (рис. 131) толщиной снимаемого слоя за один рабочий ход резца, измеренной по перпендикуляру к обрабатываемой поверхности детали.

При черновом точении и отсутствии ограничений по мощности станка величина t принимается равной припуску на обработку (h); при чистовом точении припуск снимается за два и более проходов на каждом последующем проходе глубина резания устанавливается меньше, чем при предшествующем. При обработанной Ra=3,2 параметрах шероховатости поверхности МКМ включительно t=0,5-2,0 мм; при Ra 0,8 мкм, t=0,1-0,4 мм.

При отрезке и прорезке глубиной резания является ширина главной режущей кромки, которую можно определить из выражения: b=0,6 D0,5 мм, где D - диаметр отрезаемой детали.

Для примера рассмотрим выполнение операции металлообработки на станках токарной группы, такую, как точение втулки в диаметр (рисунок 132).

/ Rz 20



Рисунок 132 — Заготовка и деталь

Сначала выполняется 3D модель заготовки и оснастки (рисунок 133). Особенности использования *САМ* программы позволяет не создавать 3D модель детали.



Рисунок 133 — Заготовка на пальце

Создадим библиотеку инструментов. Примем, что заготовка — отливка выполнена из материала СЧ — 15 (НВ = 120). Для обработки данного материала подходит резец марки Т15К6. Расчёты будут проводиться для данных материалов.

Во вкладке «редактор инструментов» выбирается тип инструмента: проходной резец. «Высота режущей части» устанавливается 15 мм. «Длина резца» остаётся 100 мм. Параметр «главный угол в плане» выставляется в значение 45. Параметр «вспомогательный угол в плане» выставляется в такое же значение. «Радиус скругления при вершине резца» устанавливается 0 мм.

«Ширина хвостовика» выставляется в значение 10 мм. «Ширина вспомогательной задней поверхности» ставится в 5 мм.

Имя инструмента указывается «Проходной резец». Нажать кнопку «в список», чтобы добавить инструмент в список.

На вкладке «ЧПУ» отобразим параметры обработки. Жёлтым цветом обозначено тело заготовки, в качестве тела детали выбирается то же самое тело заготовки. Оснастка, в качестве которой выбран палец, показан синим цветом (рисунок 134). Здесь же в левом окошке указывается файл с созданной библиотекой инструментов.



Рисунок 134 — Заготовка и оснастка

Для формирования управляющей программы нужно выбрать плоскость, на которой чертилась образующая фигура втулки (вид спереди), что изображено на рисунке 135. Та часть, в которой находится тело заготовки нужно заполнить штриховкой, обозначающей металл.



Рисунок 135 — Выбор рабочей плоскости

Выбрать команду «путь», который будет показывать направление движения режущего инструмента во время обработки заготовки (рисунок 136).



Рисунок 136 — Команда «путь»

Нажав на узлы внешнего контура втулки в порядке слева направо формируется путь. (рисунок 137).



Рисунок 137 — Построение пути

Во вкладке ЧПУ на рабочей плоскости выбирается в панели инструментов «токарная обработка» (рисунок 138).



Рисунок 138 — Панель инструментов

В открывшейся динамической вкладке с возможными токарными операциями нужно выбрать пункт «точение контура».

Выбрать файл инструмента «Библиотека инструментов точение». Инструмент — проходной резец.

Шероховатость, которую необходимо получить: $R_z = 20$.

Резец, используемый для обработки Т15К6 с радиусом при вершине 0 мм.

С учётом требуемой шероховатости выбирается подача режущего инструмента: S = 0,35 мм/об по табличным данным. Рекомендуемые подачи при черновом наружном точении приведены в табл.3 Приложения, а при черновом растачивании в табл.4 Приложения. Подачи при чистовом точении выбираются в зависимости от требуемых параметров шероховатости обработанной поверхности и радиуса при вершине резца (табл.5 Приложения). При прорезании пазов и отрезании величина поперечной подачи зависит от свойств обрабатываемого материала, размеров паза и диаметра заготовки (табл.6 Приложения).

Данное значение вводится в поле «рабочая подача по х». Параметр «рабочая подача по z» устанавливается в такое же значение. (рисунок 139).

Рабочая подача по Х:	0.35
Рабочая подача по Z:	0.35

Рисунок 139 — Параметры подачи

Так как нужно уменьшить общий диаметр заготовки на 5 мм, с каждой стороны будет срезано по 2.5 мм. Следовательно такое значение со знаком «минус» нужно указать в поле «припуск». (рисунок 140).

Припуск:	-2.5
----------	------

Рисунок	140	— Припуск
---------	-----	-----------

Для определения частоты вращения шпинделя сначала определяется эффективная скорость резания:

$$V_p = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_v,$$

где Cv — коэффициент, учитывающий условия резания; Т — период стойкости инструмента, мин; S — подача, мм/об; Kv — корректирующий коэффициент; m, x, y — показатели степени.

Значения Cv, m, x, у приведены в табл.7 Приложения.

 $C_v = 292;$

x = 0.15;

$$y = 0,20;$$

m = 0,20.

Примем T = 100 мин. — период стойкости инструмента, так как у современного инструмента он равен именно этому значению.

Корректирующий коэффициент К_v будет определяться по формуле:

 $Kv = Kmv \times K\piv \times K\phi \times Kr$

Значения показателей nv и коэффициентов Knv, Kuv, Ks, Kr приведены в табл. 8, 9, 10, 11 Приложения.

Коэффициенты, необходимые для нахождения корректирующего коэффициента:

К_{mv} = (190/120)^{1,25} = 1,78 — коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки

К_{nv} = 0,8 – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки;

К_{иv} = 1,05 – коэффициент, учитывающий материал режущей части резца;

К_о = 1,0 _ коэффициент, учитывающий главный угол в плане резца;

K_r = 0,94 – коэффициент, учитывающий величину радиуса при вершине резца.

Таким образом, корректирующий коэффициент будет равен:

1,78*0,8*1,05*1,0*0.94 = 1,44

Скорость резания, определённая по формуле:

V_P = 167 м/мин.

Определим частоту вращения заготовки:

$$n_p = \frac{V_p * 1000}{\pi D_0}$$

Где V_р — скорость резания;

D₀ — диаметр заготовки до обработки.

Таким образом частота вращения заготовки равна:

 $n_p = 818$ об/мин.

Значит параметр «частота» устанавливается в значение 818 (рисунок 141).

🖲 по часовой	О против часовой		
Частота:		818	

Рисунок 141 — Частота вращения шпинделя

Проверим, возможно ли получить расчётные значения режимов резания при использовании токарного станка с ЧПУ SKM NL 1500/2000 (рисунок 142).



Рисунок 142 — станок SKM NL 1500/2000

Для определения эффективной мощности используются две величины: сила резания Рх и скорость резания, которая была рассчитана ранее.

Сила резания раскладывается на составляющие силы, направленные по осям координат станка. В данном случае сила будет прикладываться параллельно осевому направлению. При наружном продольном и поперечном точении, растачивании, отрезании, прорезании пазов и фасонном точении эти составляющие рассчитываются по формуле:

$Px = 10Cpt^{x}S^{y}V\phi^{n}kp$

При отрезании, прорезании и фасонном точении t - длина режущей кромки резца. Постоянная Ср и показатели степени x, y, n для каждой из составляющих силу резания приведены в табл.12 Приложения.

Поправочный коэффициент Кр представляет собой произведение ряда коэффициентов, учитывающих условия резания:

$$Kp = Kmp * K\phi p * K\gamma p * K\lambda p$$

Численные значения коэффициентов приведены в табл. 13,14 Приложения Коэффициенты, необходимые для расчёта силы резания:

$$Cp = 46;$$

 $x = 1,0;$
 $y = 0,4;$
 $n = 0;$
 $K_{mp} = 0,25;$
 $K_{\phi p} = 1,0;$
 $K_{\gamma p} = 1,4;$
 $K_{\lambda p} = 1,0.$

С учётом коэффициентов, полученных выше из таблиц, поправочный коэффициент и сила резания будут равны соответственно:

Kp = 0,35.Px = 264,5 H. $N_{3\phi} = 0,75$ кВт.

Потребная мощность найдётся по формуле:

$$Np = \frac{N \ni \phi}{\eta}$$
, где

η — КПД, который у современных станков равен 0,7 — 0,85.

Тогда Np = 1 кВт.

Требуемая для совершения операции мощность в 1 кВт гораздо меньше максимальной мощности, выдаваемой электродвигателем станка, следовательно, операция вполне может быть выполнена на этом оборудовании.

После определения параметров резания выбирается путь, по которому будет двигаться режущий инструмент (рисунок 143).



Рисунок 143 — Траектория движения резца

Так как значение припуска было выбрано с отрицательным знаком, то траектория движения резца автоматически формируется внутри тела заготовки, то есть на расстоянии 2.5 мм от линии, обозначающей путь, проходимый инструментом.

После указания всех параметров нажимается кнопка «закончить ввод» (рисунок 144).



Рисунок 144 — Команда «закончить ввод»

Траектория, сформированная автоматически для движения инструмента во время обработки, показывается на чертеже красной линией.

Величину подвода/отвода инструмента можно задать в зависимости от особенностей инструмента и оснастки. В данном случае эти параметры не требуются.

Правильность выбранных решений можно проверить в имитаторе обработки (рисунок 145).



Рисунок 145 — Имитатор обработки

На рисунке 145 цифрой 1 обозначена заготовка, закреплённая на пальце 2. Цифрой 2 обозначен проходной токарный резец в начальном положении.

После выполнения рассмотренной операции заготовка имеет вид, приведённый на рисунке 146.



Рисунок 146 — Выполненная имитация обработки

Рисунок 146 показывает обработанную поверхность заготовки 2, закреплённой на пальце 1. Проходной резец 3 находится в конечном положении.

Чтобы проверить правильность полученных размеров нужно нажать на кнопку «создать модель и выйти». После выхода из вкладки «рабочая плоскость» на первый взгляд заготовка никак не изменится. Это объясняется тем, что T-flex создал выполненную модель внутри изначально созданной пользователем. Выполненная модель называется «Внешняя модель_1». Если скрыть тело изначально созданной заготовки, то получим выполненную деталь на оснастке (рисунок 147).



Рисунок 147 — Полученная деталь

Полученный диаметр соответствует заданию, значит действия были выполнены правильно. Проверить параметр шероховатости с программе не является возможным, поэтому требуется использование дополнительной технической литературы. Лабораторная работа 7. Выполнение операции «Точение» в модуле *T-FLEX* ЧПУ, с учётом расчётов режимов резания. В вариантах слева представлен рабочий чертёж заготовки, справа рабочий чертёж детали, которую требуется изготовить.

Задание: Создайте 3D деталь согласно рабочему чертежу вашего варианта. Создайте примитив, который будет использоваться в качестве заготовки.

Выполните расчёт режимов резания для каждой операции. Используйте данные расчёты для построения траектории точения. Используя «Имитатор обработки» проверьте полученный результат.

Вариант 1. Точение с расчётом режимов резания





Вариант 2. Точение с расчётом режимов резания



Вариант 3. Точение с расчётом режимов резания





Rz 20



Вариант 5. Точение с расчётом режимов резания



Вариант 6. Точение с расчётом режимов резания



Вариант 7. Точение с расчётом режимов резания



Вариант 8. Точение с расчётом режимов резания



Вариант 9. Точение с расчётом режимов резания



Вариант 10. Точение с расчётом режимов резания





ПРИЛОЖЕНИЕ

	, , , ,	
Марка стали	Свойства	Области применения
Р9	Удовлетворительная прочность, повышенная износостойкость при средних и повышенных скоростях резания, повышенная пластичность при температурах горячей деформации.	Инструмент простой формы с малым объёмом шлифованных поверхностей (резцы,свёрла,зенкеры и др.) для обработки обычных конструкционных материалов.
P18	Удовлетворительная прочность, повышенная износостойкость при малых и средних скоростях резания.	Режущий инструмент всех видов в том числе и для обработки конструкционных материалов в условиях динамических нагрузок.Для фасонных и сложных инструментов для которых основным требованием является высокая износостойкость.
P6M5,P9M4, P6M3,P8M3	Повышенная прочность, повышенная склонность к обезуглероживанию и выгоранию молибдена.	То же, что и стали Р18
Р9Ф5, Р14Ф4, Р12Ф5М, 10Р8М3, Р12Ф3	Повышенная износостойкость при низких и средних скоростях резания.	Для снятия стружки небольшого сечения; для обработки материалов, обладающих абразивными свойствами в условиях нормального разогрева режущей кромки.
Р18К5Ф2, Р6М5К5, Р10Ф5К5, Р8М3К6С, Р12М3Ф2К8.	Повышенные вторичная твёрдость и износостойкость.	Для обработки высокопрочных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов в условиях повышенного нагрева режущей кромки.
B11M7K23, B3M12K23, B18M7K25, 18M4K25, 25B20K25XΦ, 3B20K16XΦ.	Повышенная вторичная твёрдость, высокая износостойкость.	Для обработки титановых сплавов, высокопрочных,коррозионно-стойких и жаропрочных сталей; материалов, обладающих абразивными свойствами в условиях повышенного разогрева режущей кромки.

Таблица 1 — Рекомендуемые области применения быстрорежущих сталей

Вид		Обрабатываемый материал							
обработки	Стали			Сплавы			Чугуны		
	углерод	легиров	инстру	коррозио	жаропро	тугоплав	цветны	c HB	с НВ более
	истые	анные	ментал ьные	нностоки е	чные	кие	e	до 2400	2400
Точение,									
фрезерова									
ние,									
строгание:									
чистовое	Т30К4	Т30К4	ВКЗМ	BK6M	ВК6М	BK3M	ВК6М	ВК6М	ВКЗМ
	Т15К6	Т14К8	ВК3	T15K6	ВК6ОМ	ВК6М	Т18К6	ВК8	ВК3
	T5K10	T5K10							ВК6М
черновое	T5K10	Т14К8	ВК6	BK6M	BK4	BK8	ВК6	BK6	ВК6
	T5K12	T5K10	Т14К8	ВК8	ВК6	BK100M	BK8	ВК6М	ВК8
	TT7K12	TT10K8	BK8	BK10OM	ВК8	BK15OM	ТТ8К6	BK8	T18K6
	ТТ10К8	Т6К12	Т5К10	ТТ7К12	ВК15ОМ	ВК6М	ВК6М		ВК10ОМ
Сверление									
отверстий:	Т5К10	Т5К10	ВК8	Т5К12	BK8	ВК8	ВК4	ВК4	ВК8
1 < 5D	ВК8	BK10M	BK10M	ВК8	BK10M	ВК6М	ВК6М	ВК6	BK10
	Т14К8	ВК8		BK10OM	BK10OM	BK10OM		ВК8	ВК6М
1 > 5D	T5K12	T5K12	T5K12	Т5К12	ВК8	ВК6ОМ	BK4	BK6	ВК8
	ВК8	ВК8	ВК8	ВК8	BK10OM	ВК8	ВК6М	ТТ8К6	ТТ8К6

Таблица 2 — Рекомендуемые области применения твёрдых сплавов

Таблица 3 — Рекомендуемые подачи при черновом наружном точении

Диаметр	Размер	Обрабатываемый материал						
детали, мм	державки резиа		Ст	аль		Чугун и медные сплавы		
IVIIVI	резца, ММ		Подача	S, мм/об при	глубине р	езания t, мм		
		До 3	Св. 3 до 5	Св. 5 до 8	До 3	Св. 3 до 5	Св. 5 до 8	
До 20	От 16 x 25 до 25 x 25	0,3 - 0,4	-	-	-	-	-	
20 - 40	От 16 x 25 до 25 x 25	0,4 - 0,5	0,3 - 0,4	-	0,4 - 0,5	-	-	
40 - 60	От 16 x 25 до 25 x 40	0,5 - 0,9	0,4 - 0,8	0,3 - 0,7	0,6 - 0,9	0,5 - 0,8	0,4 - 0,7	
60 - 100	От 16 x 25 до 25 x 40	0,6 - 1,2	0,5 - 1,1	0,5 - 0,9	0,8 - 1,4	0,7 - 1,2	0,6 - 1,0	
100 - 400	От 16 x 25 до 25 x 40	0,8 - 1,3	0,7 - 1,2	0,6 - 1,0	1,0 - 1,5	0,8 - 1,3	0,8 - 1,1	

Примечание. 1. При обработке прерывистых поверхностей и при работе с ударными нагрузками табличные значения подач следует уменьшать на 15-25 %.

2. При обработке закалённых сталей с HRC 44-56 табличные значения необходимо уменьшать, умножая на коэффициент 0,8; для сталей с HRC 57-62 на коэффициент 0,5.

Диаметр		Обрабатываемый материал						
круглого		C	галь		Чугун			
резца			Подача S,	мм/об, при	при глубине резания t, мм			
или раз	2	3	5	8	2	3	5	8
меры		_	-	-		_	-	-
прямоуголь								
ного								
сечения								
державки								
10	0.08	-	-	-	0,12 -	-	-	-
					0,16			
12	0.10	0.08	-	-	0,12 -	0,12 -	-	-
					0,20	0,18		
16	0.10-	0.15	0.10	-	0,20 -	0,15 -	0,10 -	-
	0.20				0,30	0,25	0,18	
20	0.30-	0.15-0,25	0.12	-	0,30 -	0,25 -	0,12 -	-
	0.50				0,40	0,35	0,25	
30	0.40-	0,20 -	0,12 -	-	0,50 -	0,40 -	0,25 -	-
	0.70	0,50	0,30		0,80	0,60	0,45	
40	-	0,25 -	0,15 -	-	-	0,60 -	0,30 -	-
		0,60	0,40			0,80	0,80	
40x40	-	0,40-	0,30 -	-	-	0,60 -	0,40 -	0,30 -
		0,70	0,60			0,90	0,70	0,40
60x60	-	0,70 - 1,0	0,50 -	0,40 -	-	0,90 - 1,2	0,70 -	0,50 -
			0,80	0,70			0,90	0,70

Таблица 4 — Рекомендуемые подачи при черновом растачивании

Примечания. 1. При обработке жаропрочных сталей и сплавов подачи более 1 мм/об не применять

2. При обработке прерывистых поверхностей и при работе с ударами табличные значения подач следует уменьшать на 15 - 25 %.

3. При обработке закалённых сталей с HRC 44-56 значения подач нужно уменьшать, умножая на коэффициент 0,8; а с HRC 57-62 на коэффициент 0,5.

Шероховатость обработанной поверхности		Радиус при вершине резца, мм					
Ra	Rz	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4
0.63	-	0.07	0.10	0.12	0.14	0.15	0.17
1.25	-	0.10	0.13	0.16	0.19	0.21	0.23
2.5	-	0.14	0.20	0.25	0.29	0.32	0.35
	20	0.25	0.33	0.42	0.49	0.55	0.60
	40	0.35	0.51	0.63	0.72	0.80	0.87
	80	0.47	0.66	0.81	0.94	1.04	1.14

Примечание. Подачи приведены для обработки сталей с ов = 700-900 Мпа и чугунов. Для сталей с ов = 500-700 МПа значение подачи необходимо умножить на коэффициент Ks= 0,45, а для сталей с ов = 900-1100 Мпа на коэффициент Ks= 1,25.

Таблица 6 — Подачи при прорезании пазов и отрезании

Диаметр	Ширина режущей	Обрабатываемый материал			
обрабатываемой детали	кромки резца, мм	Стали	Чугуны, медные и алюминиевые сплавы		
До 20	3	0.06 - 0.08	0.11 — 0.14		
20 — 40	3 — 4	0.10 - 0.12	0,16 — 0,19		
40 — 60	3 — 5	0.13 — 0.16	0,20 — 0,24		
60 — 100	5 — 8	0.16 — 0.23	0,24 — 0,32		
100 — 150	6-10	0.18 — 0.26	0,30 — 0,40		

Примечание. Для закалённой конструкционной стали табличные значения подач необходимо уменьшить на 30% при HRC<50 и на 50% при HRC>50.

Вид	Материал режущей части резца	Подача	Коэффициент С _v и показатели			
обработки			C_v	Х	У	m
Обработка конструкционной стали						
Точение	твёрдый	S<0,3	420	0,15	0,20	0,20
	сплав	S=0,3-0,7	350	0,15	0.35	0,20
	_	S>0,7	340	0,15	0,45	0,20
Отрезание	твёрдый	-	47,0	-	0,80	0,20
	сплав	-	23,7	-	0,66	0,25
	быстрорежу					
	щая сталь					
Оораоотка серого чугуна						
Точение	твёрдый сплав	$S \le 0,40$	292	0,15	0,20	0,20
		S > 0,40	243	0,15	0,40	0,20
Отрезание	твёрдый	-	68,5	-	0,40	0,20
	сплав					
Обработка ковкого чугуна						
Точение	твёрдый сплав	$S \le 0,40$	317	0,15	0,20	0,20
		S > 0,40	215	0,15	0,45	0,20
Отрезание	твёрдый	-	86	-	0,40	0,20
	сплав					
Обработка медных сплавов						
Точение	быстрорежу щая сталь	$S \le 0,20$	270	0,12	0,25	0,23
		S >0,20	182	0,12	0,30	0,23
Обработка алюминиевых сплавов						
Точение	быстрорежу щая сталь	S ≤ 0,20	485	0,12	0,25	0,28
		S >0,20	328	0,12	0,50	0,28

Таблица 7 — Значения коэффициента С_v и показателей степени т, x, y при точении
Таблица 8 — Значение показателей степени пу

Обрабатываемый	Показатели степени nv при обработке							
материал	рез	цами	сверлами, зе разверт	енкерами, тками	фреза	МИ		
	ИЗ	из твёрдого	ИЗ	ИЗ	ИЗ	ИЗ		
	быстроре	сплава	быстрорежу	твёрдого	быстрорежу	твёрдого		
	жущей		щей стали	сплава	щей стали	сплава		
	стали							
Сталь:	-1,0	1,0	-0,9	1,0	-0,9	1,0		
углеродистая (С								
0,6%) ,MIIa: <450	1.55	1.0		1.0		1.0		
450-550	1,75	1,0	-0,9	1,0	-0,9	1,0		
>550	1,75	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0		
углеродистая (C>0,6%)	1,5	1,0	0,9	1,0	1,35	1,0		
Хромоникелевая,	1,25	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0		
хромомарганцовист								
ая,								
хромокремнистая								
	1,25	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0		
хромокремнемарга								
нцовистая,								
хромоникельмолио								
деновая,								
хромованадисвая	1.50	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0		
марганцовистая	1,50	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0		
хромоникельванади	1,25	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0		
евая,								
тромомолиоденова								
л, хромоалюминиевая								
хромоникельванади								
евая								
Чугун:	1,70	1,25	1,3	1,3	0,95	1,25		
серый								
ковкий	1,30	1,25	1,3	1,3	0,85	1,25		

	Состояние поверхности заготовки								
без	с коркой								
корки	Прокат	Поковка	Стальные и чугу	тальные и чугунные отливки при Медные и алюминиев					
			КО	рке	сплавы				
			нормальной	сильно загрязнённой					
1.0	0,9	0,8	0,80-0,85	0,50-0,60	0,90				

Таблица 9— Значения поправочного коэффициента К_{пv}

Обрабатываемый материал	Значен	Значения Киу в зависимости от марки инструментального материала						
marephan								
Сталь	T5K12	Т5К10	P18	Т15К6	P6M5	Т30К4 1,4	ВК8 0,4	
конструкционная	B 0,75	0,65	0,8	1,05	1,15			
Сталь закалённая		HRC 3	5 - 50		HRC 51 - 62			
	T15K6	T30K4	BK6	BK8	BK4	BK6	BK8	
	1,0	1,25	0,85	0,83	1,0	0,92	0,74	

ВК3

1,15

9XC 0,6

Серый и ковкий

чугун

Медные и

алюминиевые

сплавы

ВК8

0,83

P6M5

1,0

ВК6 1,0

ВК4 2,5

ВК4

1,10

ВК6

2,7

Таблица 10 — Значения поправочного коэффициента К_{иν}

ХВГ 0,6

Таблица 11 — Значения коэффициентов К и Кr

P18

0,95

У12А 0,5

P6M3 0,9

Главный угол в плане,	Коэффициент К ^ө	Радиус при вершине резца г, мм	Коэффициент Kr
20	1,4	1	0,94
40	1,2	2	1,0
45	1,0	3	1,03
60	0,9	-	-
75	0,8	5	1,13
90	0,7	-	-

Обрабатывае	Материал	Вид Коэффициент Ср и показатели степени												
мый материал	резца	обработки	тан	ігені	циаль Pz	ной	pa	диалі	ьной]	Ру	С	сев	ой Рх	[
			Ср	Х	У	n	Ср	Х	У	n	Ср	X	У	n
Конструкцио нная сталь	Твёрдый сплав	Наружное точение и	300	1.0	0.75	-	243	0,9	0,6	-	339	1,0	0,5	-
		растачивание	400	• -	0.0	0.15	1 = 2	0.70	0.67	0,3				0,4
		Отрезание и прорезание	408	0.7	0.8	0	173	0,73	0,67	0	-	-	-	-
	Быстроре жущая сталь	Наружное точение и растачивание	200	1,0	0,75	0	125	0,9	0,75	0	67	1,2	0,65	0
		Отрезание и прорезание	247	1,0	1,0	0								
Серый чугун	Твёрдый сплав	Наружное точение и растачивание	92	1,0	0,75	0	54	0,9	0,75	0	46	1,0	0,4	0
	Быстроре ж. сталь	Отрезание и прорезание	158	1,0	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ковкий чугун	Твёрдый сплав	Наружное точение и растачивание	81	1,0	0,75	0	43	0,9	0,75	0	38	1,0	0,4	0
		Отрезание и прорезание	139	1,0	1,0									
Медные сплавы	Быстроре жущая сталь	Наружное точение и растачивание	55	1,0	0,66	0	-	-	-	-	-	-	-	-
		Отрезание и прорезание	75	1,0	1,0	0								
Алюминиев ые сплавы		Наружное точение и растачивание	40	1,0	0,75	0								
		Отрезание и прорезание	50	1,0	1,0	-								

Таблица 12 — Значения коэффициента Ср и показателей степени

Таблица 13 — Поправочный коэффициент Кмр, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала

Обрабатываемый	Расчётная	Показатель степени п при определении						
материал	формула	Рz при обработке резцами	Мкр и Р0 при сверлении, рассверливании и зенкеровании	окружной силыРz при фрезеровании				
Конструкционна я углеродистая и легированная								
сталь при: σв≤600 МПа	$Kmp = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n$	0,75/0,35	0,75/0,75	0,3				
σв > 600 МПа		0,75/0,75	0,75/0,75	0,3				
Серый чугун	$Kmp = \left(\frac{HB}{1900}\right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55				
Ковкий чугун	$Kmp = \left(\frac{HB}{1500}\right)^n$	0,4/0,55	0,6/0,6	1,0/0,55				

Примечания. 1. В числителе приведены значения показателя n для твёрдых сплавов, в знаменателе - для быстрорежущей стали.

2. При обработке медных сплавов с НВ 1200 следует принимать Кмр= 1,0, а при НВ>1200 Кмр= 0,75.

3. При обработке алюминия и силумина Кмр= 1,0.

4. При обработке дюралюминия с Мпа Кмр= 1,5.

Если = 250-350 Мпа, то Кмр= 2,0. В случае >350 Мпа Кмр= 2,75.

Таблица 14 — Поправочные коэффициенты, з	учитывающие влияние геометрических
параметров инструмента на силы	резания при обработке стали и чугуна

Параметры		Материал	Поправочные коэффициенты					
Наименован ие	Величина	режущей части инструмента	Обозначение	Величина коэффициента для составляющих				
				Pz	Ру	Px		
Главный угол в плане, ф ₀	30 45 60 90	Твёрдый сплав		1,08 1,00 0,94 0,89	1,30 1,00 0,77 0,50	0,78 1,00 1,11 1,17		
	30 45 60 90	Быстрорежущая сталь	$K_{\phi p}$	1,08 1,00 0,98 1,08	1,63 1,00 0,71 0,44	0,70 1,00 1,27 1,32		
Передний угол, ү ⁰	-15 0 10	Твёрдый сплав		1,25 1,10 1,00	2,0 1,40 1,00	2,00 1,40 1,00		
	12-15 20-25	Быстрорежущая сталь	K _{γp}	1,15 1,00	1,60 1,00	1,70 1,00		
Угол наклона главной режущей	-5 0 5 15	Твёрдый сплав		1,00 0,98 0,96 0,92	0,75 1,00 1,25 1,70	1,07 1,00 0,85 0,65		
кромки, λ ⁰	-5 0 5	Быстрорежущая сталь	$K_{\lambda p}$	1,10 0,98 0,97	0,98 1,00 1,00	0,97 0,96 1,00		

Таблица 15 — Рекомендуемые подачи S мм/об при сверлении из быстрорежущей стали

Диаметр сверла, D		Ста	аль		Чугун, медные и алюминиевые сплавы		
ММ	HB<1600	HB 1600- 2400	HB 2400- 3000	HB>3000	HB ≤ 1700	HB>1700	
2-4	0,09-0,13	0,08-0,10	0,06-0,07	0,04-0,06	0,12-0,18	0,09-0,12	
4-6	0,13-0,19	0,10-0,15	0,07-0,11	0,06-0,09	0,18-0,27	0,12-0,18	
6-8	0,19-0,26	0,15-0,20	0,11-0,14	0,09-0,12	0,27-0,36	0,18-0,24	
8-10	0,26-0,32	0,20-0,25	0,14-0,17	0,12-0,15	0,36-0,45	0,24-0,31	
10-12	0,32-0,36	0,25-0,28	0,17-0,20	0,15-0,17	0,45-0,55	0,31-0,35	
12-16	0,36-0,43	0,28-0,33	0,20-0,23	0,17-0,20	0,55-0,66	0,35-0,41	
16-20	0,43-0,49	0,33-0,38	0,23-0,27	0,20-0,23	0,66-0,76	0,41-0,47	
20-25	0,49-0,58	0,38-0,43	0,27-0,32	0,23-0,26	0,76-0,89	0,47-0,54	
25-30	0,43-0,48	0,43-0,48	0,32-0,35	0,26-0,29	0,89-0,96	0,54-0,60	
30-40	0,48-0,58	0,48-0,58	0,35-042	0,29-0,35	0,96-1,19	0,60-0,71	
40-50	0,58-0,66	0,58-0,66	0,42-0,48	0,35-0,40	1,19-1,36	0,71-0,81	

Примечание. При использовании сверл с режущей частью из твёрдого сплава, приведённые значения подач необходимо умножать на коэффициент 0,6.

			Unicing	орсясуще	in chiasin	u moepoor	.0 сплава	
Обрабатываемый материал		Диаметр зенкера D, мм						
	До 15	Св.15 до 20	Св.20 до 25	Св.25 до 30	Св.30 до 35	Св.35 до40	Св.40 до 50	
Сталь	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,9	0,8-1,0	0,9-1,1	0,9-1,2	1,0-1,3	
Чугун, НВ≤ 2000 и медные сплавы	0,7- 0,9	0,9-1,1	1,0-1,2	1,1-1,3	1,2-1,5	1,4-1,7	1,6-2,0	
Чугун, НВ>2000	0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,1	1,4-1,7	1,2-1,4	

Таблица 16 — Рекомендуемые подачи, S мм/об, при обработке отверстий зенкерами из быстрорежущей стали и твёрдого сплава

Примечание. При зенкеровании глухих отверстий подача не должна превышать 0,3 - 0,6 мм/об.

Таблица 17 — Подачи S, мм/об при черновом развёртывании отверстий развёртками из быстрорежущей стали

Обрабатываемый материал		Диаметр развёртки D, мм						
	До 10	Св.10 до 15	Св.15 до 20	Св.20 до 25	Св.25 до 30	Св.30 до 35	Св.35 до 40	Св.40 до 50
Сталь	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
Чугун, HB≤ 2000 и медные сплавы	2,2	2,4	2,6	2,7	3,1	3,2	3,4	3,8
Чугун, HB>2000	1,7	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,7	3,1

Примечание. 1. При чистовом развёртывании подачу следует уменьшать, умножая на коэффициент Kos= 0,75.

2. При использовании развёрток с режущей частью из твёрдого сплава, подачу необходимо уменьшать, умножая на коэффициент Kus= 0,7.

3. При развёртывании глухих отверстий подача не должна превышать значений 0,2-0,5 мм/об.

Таблица 18 — Значения Су и показателей степени для определения скорости резания при
сверлении

Обрабатываемый материал	Материал режущей	Подача	Суи	показат	тели сте	пени
	части инструмента	S, мм/об	Cv	q	У	m
Сталь конструкционная, ов =750 МПа	Быстрорежущая	$\leq 0,2 > 0,2$	7,0 9,8	0,4	0,7 0,5	0,2
Чугун серый	сталь	$\leq 0,3 > 0,3$	14,7 17,1	0,25	0,55 0,4	0,125
	Твёрдый сплав	-	34,2	0,45	0,3	0,2
Медные сплавы	Быстрорежущая	$\leq 0,3 > 0,3$	28,1 32,6	0,25	0,55 0,40	0,125
Алюминиевые сплавы	сталь	$\leq 0,3 > 0,3$	36,3 40,7	0,25	0,55 0,40	0,125

Параметры для свёрл из быстрорежущей стали соответствуют их двойной заточке и подточенной перемычке. При одинарной заточке рассчитанную скорость резания следует уменьшить, умножив на коэффициент K3v=0,75.

Таблица 19 — Значения Сv и показателей степени для определения скорости резания при рассверливании, зенкеровании и развертывании

Обрабатывае мый материал	Вид обработки	Материал инструмента	К	эффи пок	ициен азате	нт Сv ели	И
			Cv	q	X	У	m
Конструкцио	Рассверливание	Быстрорежущая сталь	16,2	0,4	0,2	0,5	0,2
нная	ая Твёрдый сплав		10,8	0,6		0,3	0,25
сталь	Зенкерование	Быстрорежущая сталь	16,3	0,3		0,5	0,3
		Твёрдый сплав	18,0	0,6		0,3	0,25
	Развёртывание	10,5	0,3	0,2	0,65	0.4	
		Твёрдый сплав	00,6	0,3	0.0	0,65	
Чугун серый конструкцион	Рассверливание	Быстрорежущая сталь	23,4	0,25	0,1	0,4	0,12 5
ный		Твёрдый сплав	56,9	0,5	0,1 5	0,45	0,4
	Зенкерование	Быстрорежущая сталь	18,8	0,2	0,1	0,4	0,12 5
	Твёрдый сплав		105	0,4	0,1 5	0,45	0,4
	Развёртывание	Быстрорежущая сталь	15,6	0,2	0,1	0.5	0,3
		Твёрдый сплав	109	0,2	0.0	0.5	0,45

Инструмент (операция)	Обрабатываемый материал	Материал инструмента	Т, мин, при диаметре инструмента							
			до 5	6- 10	11- 20	21- 30	31- 40	41- 50		
Сверло (сверление и рассверливание)	Конструкционная углеродистая и	ционная Быстрорежущая 1 истая и сталь			45	50	70	90		
	легированная сталь	Твёрдый сплав	8.0	15	20	25	35	45		
Сверло (сверление и рассверливание)	Чугун, медные и алюминиевые	Быстрорежущая сталь	20	25	60	75	105	140		
	сплавы Т		15	25	45	50	70	90		
Зенкер (зенкерование)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь, чугун	Быстрорежущая сталь и твёрдый сплав	-	-	30	40	50	60		
Развёртка (развёртывание)	Конструкционная углеродистая и	Быстрорежущая сталь	-	25	40	80	80	120		
	легированная сталь	Твёрдый сплав Быстрорежущая сталь		20	30	50	70	90		
	Серый и ковкий чугун			-	60	120	120	180		
		Твёрдый сплав	-	-	45	75	105	135		

Таблица 20 — Средние значения периода стойкости Т мин, свёрл, зенкеров и развёрток

Обрабатываем	операция	Материал	Коз	эффи	циен	ІТЫ 🛛	и пок	азат	ели	В		
ый материал		инструмента			ф	эрму	улах					
			Кр	утяш	цего		Oc	евоі	й си	лы		
			момента									
			См	q	Х	у	Cp	q	Х	у		
Конструкцион	Сверление		0,034	2,0	-	0,8	68	1,0	-	0,7		
ная сталь	Рассверливание и	Быстрорежущая	0,090	1,0	0,9	0,8	67	-	1,2	0,65		
	зенкерование	сталь										
Конструкцион	Сверление		0,012	2,2	-	0,8	42	1,2	-	0,75		
ный чугун	Рассверливание и	Твёрдый сплав	0,196	0,85	0,8	0,7	46	-	1,0	0,4		
	зенкерование											
_	Сверление		0,021	2,0	-	0,8	42,7	1,0	-	0,8		
	Рассверливание и	Быстрорежущая	0,085	-	0,7	0,8	23,5	-	1,2	0,4		
	зенкерование	сталь			5							
Медные	Сверление		0,012	2,0	-	0,8	31,5	1,0	-	0,8		
сплавы	Рассверливание и		0,031	0,85	0,7	0,8	17,2	-	1,0	0,4		
	зенкерование	7			5							
Алюминиевые	Сверление	Быстрорежущая	0,005	2,0	-	0,8	9,8	1,0	-	0,7		
сплавы		СТаль										

Таблица 21 — Значение показателей и коэффициентов в формулах Мкр и Ро при сверлении, рассверливании и зенкеровании

Примечание. При использовании свёрл с неподточенной перемычкой осевую силу следует увеличить, уменьшая на коэффициент Ко = 1,33.

Таблица 22 — Подачи при черновом фрезеровании торцовыми, цилиндрическими и дисковыми фрезами из твёрдого сплава

Мощность		Обрабатывае	мый материал									
станка, кВт	Ста	аль	Чугун и мед	цные сплавы								
	Под	Подача на зуб Sz, мм/зуб, при твёрдом сплаве										
	Т15К6	T5K10	ВК6	ВК8								
До 10	0,09- 0,18	0,12-0,18	0,14-0,24	0,20-0,29								
Св. 10	0,12-0,18	0,16-0,24	0,18-0,28	0,25-0,38								

Примечание. 1. При использовании цилиндрических фрез при В>30 мм табличные значения подач уменьшаются на 30%.

2. Для дисковых фрез приведённые подачи действительны при обработке плоскостей и уступов. При фрезеровании пазов табличные значения подач следует уменьшить в 2 раза.

Таблица 23 — Подачи при черновом фрезеровании торцовыми, цилиндрическими и дисковыми фрезами из быстрорежущей стали

Мощность	Зубья фрезы		Фр	езы			
станка, кВт		Торцовые	и дисковые	Цилиндрические			
		Подача	на один зуб Sz,	мм/зуб, при об	работке		
		Сталей	Чугуна и медных сплавов	Сталей	Чугуна и медных сплавов		
До 5	Крупные	0,06-0,07	0,15-0,30	0,08-0,12	0,10-0,18		
	Мелкие	0,04-0,06	0,12-0,20	0,05-0,08	0,06-0,12		
5 - 10	Крупные	0,08-0,15	0,20-0,40	0,12-0,20	0,20-0,30		
	Мелкие	0,06-0,10	0,15-0,30	0,06-0,10	0,10-0,15		
Св.10	Крупные	0,15-0,25	0,30-0,50	0,30-0,40	0,40-0,60		

Таблица 24 — Подачи при чистовом фрезеровании So, мм/об торцовыми, цилиндрическими и дисковыми фрезами

Торцовые и фрезы со н нож	и дисковые вставными ами	Цилиндј	стали при д	циаметре			
Из твёрдого	Из быстроре	конст	рукционная	сталь	чугун, ме	дные и алю сплавы	миниевые
сплава	жущей стали	40 - 75	90 - 130	150 -200	40 - 75	90 - 130	150-200
0.4 - 1,20	0,23-1,20	0,6-2,7	1,0-3,8	1,3 - 5,0	0,6 - 2,3	0,8 - 3,0	1,1 - 3,7

Таблица 25 — Подачи при черновом фрезеровании твердосплавными концевыми фрезами заготовок из стали

Вид	Диаметр	Подач	на Sz, мм/зуб,	при глубине	фрезерования	t, мм
режущих инструмент ов	фрезы, мм	до 3	3-5	5-8	8-12	12-20
	10 - 12	0,01 - 0,03	-	-	-	-
Коронка	14 - 16	0,02 - 0,06	0,02 - 0,04	-	-	-
	18 - 22	0,04 - 0,07	0,03 - 0,05	0,02 - 0,04	-	-
Винтовые	20	0,06 - 0,10	0,05 - 0,08	0,03 - 0,05	-	-
пластинки	25	0,08 - 0,12	0,06 - 0,10	0,05 - 0,10	0,05 - 0,08	-
	30	0,10 - 0,15	0,08 - 0,12	0,06 - 0,10	0,05 - 0,09	0,04 - 0,07
	40	0,10 - 0,18	0,08 - 0,13	0,06 - 0,11	0,05 - 0,10	0,05 - 0,09
	50	0,10 - 0,20	0,1 - 0,15	0,08 - 0,12	0,06 - 0,10	0,06 - 0,10

Таблица 26 — Подачи при чистовом фрезеровании Ѕомм/об твердосплавными концевыми фрезами заготовок из стали

Диаметр фрезы, мм	10 - 16	20 - 22	25 - 35	40 - 60
Подача So, мм/об	0,02 - 0,06	0,06 - 0,12	0,12 - 0,24	0,30 - 0,60

Примечание. При черновом фрезеровании чугуна подачи следует увеличить на 30- 40 %.

фрезы	Материал режущей	Операция	Па	араме аемої	тры	k	Соэффициент и показатели степени					
	части		B	t	S ₇	Cv	a	x	V	u	p	m
		Обработка в	констр	уукци	ионной	стали	I I				1	
Торцовые	Твёрдый сплав	Фрезеровани е плоскостей	-	-	-	332	0,2	0,1	0,4	0,2	0	0,2
	Быстрореж ущая сталь	-	-	-	${\le \ 0,1>\ 0,1}$	64,7 41,0	0,25	0,1	0,2 0,4	0,15	0	0,2
Цилиндричес кие	Твёрдый сплав	Фрезеровани е плоскостей	≤ 35	≤ 2 > 2	-	390 443	0,17	0,19 0,38	0,28	- 0,05 -	0,1	0,33
	Быстрореж ущая сталь		> 35	≤2 > 2		616 700	0,17	0,19 0,38		0,03 0,08 0,08		
			-	-	${\le \ 0,1 > \ 0,1}$	55 35,4	0,45	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,33
Дисковые со вставными	Твёрдый сплав	Фрезеровани е плоскостей	-	-	< 0,12 $\ge 0,12$	1340 740	0,2	0,4	0,12 0,4	0	0	0,35
ножами		Фрезеровани е пазов	-	-	< 0,06 ≥ 0,06	1825 690	0,2	0,3	0,12 0,4	0,1	0	0,35
	Быстрореж ущая сталь	Фрезеровани е плоскостей и пазов	-	-	${{\leq}\atop{0,1>}} 0,1>$	75,5 48,5	0,25	0,3	0,2 0,4	0,1	0,1	0,2
Дисковые цельные			-	-	-	68,5	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Концевые с коронками	Твёрдый сплав	Фрезеровани е плоскостей,	-	-	-	145	0,44	0,24	0,26	0,1	0,13	0,37
Концевые с напаянными пластинами		уступов и пазов	-	-	-	234	0,44	0,24	0,26	0,1	0,13	0,37
Концевые цельные	Быстро режущая	-	-	-	-	46,7	0,45	0,5	0,5	0,1	0,1	0,33
Прорезные и отрезные	сталь		-	-	-	53	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,20
Шпоночные двухперные			-	-	-	12	0,3	0,3	0,25	0	0	0,26
		Обработк	а чуг	уна,	$\text{HB} \le 1$	500						
Торцовые	Твёрдый сплав	Фрезеровани е поверхностей	-	-	≤ 0,18> 0,18	994 695	0,22	0,17	0,1 0,32	0,22	0	0,33
	Быстро режущая сталь	_ 1	-	-	≤ 0,1 > 0,1	90,5 57,4	0,25	0,1	0,2 0,4	0,15	0,1	0,20
Цилиндричес			-	-	\leq	77	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33

Таблица 27 — Значения коэффициента Сv и показателей степени в формуле скорости фрезерования при обработке сталей и чугунов

кие				0,1 >	49,5		0,4			
				0,1						
Дисковые	Быстрореж фрезерование	Э- т	-	-	95,8 0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
целвные		·								
Концевые	пазов	-	-	-	68,5 0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33

Таблица 27 Продолжение

Прорезные и отрезные		Прорезание пазов и отрезание	-	-	-	74	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2
		Обработка	а чу	гуна , l	HB > 1	500						
Торцовые	Твёрдый сплав		-	-	-	445	0,2	0,15	0,35	0,2	0	0,32
	Быстрореж ущая сталь	-	-	-	-	42	0,2	0,1	0,4	0,1	0,1	0,15
Цилиндричес кие	Твёрдый сплав		-	< 2,5	${{\leq}\atop{0,2>}} 0,2>$	923 588	0,37	0,13	0,19 0,47	0,23	0,14	0,42
		-	-	≥2,5	${{\leq}\atop{0,2>}} 0,2>$	1180 750	0,37	0,40	0,19 0,47			
	Быстро режущая сталь		-	-	${\le 0,15 > 0,15} $	56,7 27	0,7	0,5	0,2 0,6	0.3	0.3	0,25
Дисковые цельные	Быстро режущая сталь	Фрезеровани е плоскостей и пазов	-	-	-	72	0.2	0,5	0,4	0,1	0,1	0,15
Концевые		Фрезеровани е плоскостей и уступов	-	-	-	72	0,7	0,5	0,2	0,3	0,3	0,25
Прорезные и отрезные		Фрезеровани е и отрезание	-	-	-	30	0,2	0,5	0,4	0,2	0,1	0,15

Таблица 28 — Значения коэффициента Сv и показателей степени в формуле скорости резания при обработке сплавов на медной и алюминиевой основе фрезами из быстрорежущей стали

Фрезы	Обрабатываемый материал			I	Іодача на зуб	C	Сv и показатели степени в формуле скорости						
				N	Sz, 1м/зуб	C	v	q	Х	у	u	р	m
Торцовые	медные сплавы			≤0,1	13	36			0,2		0,1		
				> 0,1	86	5,2	0,25	0,1	0,4	0,15	0,1	0,2	
	алюмини	ииниевые сплавы			≤0,1	24	15			0,2		0,1	0,2
							0.25	0.1		0.15			
					> 0,1	15	55	0,23	0,1	0,4	0,15	0,1	
цилиндрическ	медны	ые сплавы			≤0,1	11:	5,5	0.45	0,3	0,2	0,1	0,1	0.22
ие					> 0,1	74	,3	0,45		0,4		0,1	0,33
	алюминиевые сплавы				≤0,1	20)8		0,3	0,2	0,1	0,1	
					> 0,1	13	3,5	0,45	0,3	0,4	0,1	0,1	0,33
Дисковые	медные сплавы				-	14	14	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
цельные	алюминиевые сплавы				-	25	59	0,25	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2
Концевые	медные сплавы				-	1()3	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
	алюминиевые сплавы				-	18	5,5	0,45	0,3	0,2	0,1	0,1	0,33
Прорезные и отрезные	медные сплавы				-	11	1,3	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2
	алюминиевые сплавы				-	20)0	0,25	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2
	Табл	uųa 2	$29 - C_{2}$	редні	1e 31	чачени	ія пер	иода	стой	кост	и фрез		
Фрезы		Стс			сость Т, мин, при диаметре фрезы, мм								
		20 25 4		40	0 60 7		75 90 110) 150 200 250			300) 400
Торцовые				120			18	0			140	300) 400
Цилиндриче	еские со												
вставными н	южами и иным зубом												
	linnin og o oni												
				_				180		24	0	_	
Цилиндрические с мелким													
зубом													
		_		10	20	18	80						
Дисковые		-	20	10		120	15	0 18	0 240)	-		
Концевые 80		80	90	120	180					-			
Прорезные и отрезные													
			_			60	75	1	120	15	0	_	
Фасонные		_			120		180)		10	-		

Таблица 30 — Значения Ср и показателей степени для фрезерования

Фрезы	Материал инструмента	Коэфо	Коэффициент и показатели степени							
		Cp	Х	У	u	q	W			
	Обработка конструкцио	нной стал	И							
Торцовые	Твёрдый сплав	825	1,0	0,75	1,1	1,3	0,2			
	Быстрорежущая сталь	82,5	0,95	0,8	1,1	1,1	0			
цилиндрические	Твёрдый сплав	101	0,88	0,75	1,0	0,87	0			
	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0			
Дисковые,прорезные,	Твёрдый сплав	261	0,9	0,8	1,1	1,1	0,1			
отрезные	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0			
Концевые	Твёрдый сплав	12,5	0,85	0,75	1,0	0,73	- 0,13			
	Быстрорежущая сталь	68,2	0,86	0,72	1,0	0,86	0			
Обработка серого чугуна										
Торцовые	Твёрдый сплав	54,5	0,9	0,74	1,0	1,0	0			
	Быстрорежущая сталь	50	0,9	0,72	1,14	1,14	0			
цилиндрические	Твёрдый сплав	58	0,9	0,8	1,0	0,9	0			
	Быстрорежущая сталь	30	0,83	0,65	1,0	0,83	0			
Дисковые, отрезные,	Быстрорежущая сталь	30	0,83	0,65	1,0	0,83	0			
прорезные, концевые	05									
	Оораоотка ковкого чугуна									
Торцовые	Твёрдый сплав	491	1,0	0,75	1,1	1,3	0,2			
	Быстрорежущая сталь	50	0,95	0,8	1,1	1,1	0			
Все остальные Быстрорежущая сталь		30	0,86	0,72	1,0	0,86	0			
Обработка медных сплавов										
Все типы	Быстрорежущая сталь	22,6	0,86	0,72	1,0	0,86	0			

Примечание. Силу Pz при фрезеровании алюминиевых сплавов рассчитывать, как для стали, с введением коэффициента 0,25.