

**ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ**

**ОБРАЗОВАНИЕ**

Д. Г. Мирошин, Е. В. Тюгаева,  
О. В. Костина

# ТЕХНОЛОГИЯ РАБОТЫ НА СТАНКАХ С ЧПУ



 **Юрайт**  
издательство

Д. Г. Мирошин, Е. В. Тюгаева, О. В. Костина

# ТЕХНОЛОГИЯ РАБОТЫ НА СТАНКАХ С ЧПУ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СПО

*Рекомендовано Учебно-методическим отделом среднего профессионального образования в качестве учебного пособия для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования*



Курс с практическими заданиями и дополнительными материалами доступен на образовательной платформе «Юрайт», а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»

Москва • Юрайт • 2024

УДК 621.9.067(075.32)  
ББК 34.63-5(я723)  
М64

**Авторы:**

**Мирошин Дмитрий Григорьевич** — доцент, кандидат педагогических наук, доцент Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург);

**Тюгаева Елена Валерьевна** — директор Центра молодежного инновационного творчества ООО «Унима-тик»;

**Костина Ольга Валентиновна** — преподаватель Учебного центра Уралмашзавод.

**Рецензенты:**

**Штерензон В. А.** — доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры электронного машиностроения Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина;

**Мичурова Н. Н.** — кандидат педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой общетехнических дисциплин Уральского института государственной противопожарной службы МЧС России.

**Мирошин, Д. Г.**

М64      Технология работы на станках с ЧПУ: учебное пособие для среднего профессионального образования / Д. Г. Мирошин, Е. В. Тюгаева, О. В. Костина. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 194 с. — (Профессиональное образование). — Текст: непосредственный.

ISBN 978-5-534-13637-1

В учебном пособии раскрываются пять шагов подготовки студентов и школьников к программированию станков с ЧПУ. Каждый шаг представляет собой отдельную главу, включающую учебные элементы теоретического и практического характера, связанные с основами технического черчения, выбором инструментов и материалов, наладки и настройки станков с ЧПУ, основами программирования обработки деталей и программированием фрезерной и токарной обработки деталей на учебных станках с ЧПУ в системе Linux.

УДК 621.9.067(075.32)

ББК 34.63-5(я723)

*Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.*

ISBN 978-5-534-13637-1

© Мирошин Д. Г., Тюгаева Е. В.,

Костина О. В., 2021

© ООО «Издательство Юрайт», 2024

# Оглавление

<b>Введение.....</b>	<b>5</b>
<b>Шаг 1. Основы технического черчения .....</b>	<b>8</b>
1.1. Изображения на чертежах .....	8
1.2. Точность размеров. Понятие о допуске на размер .....	17
1.3. Допуски формы и расположения поверхностей деталей.....	23
1.4. Качество поверхностей деталей: шероховатость.....	32
1.5. Резьба: виды и основные параметры.....	37
1.6. Чтение чертежа валика .....	45
<b>Шаг 2. Резание металлов и металлорежущие инструменты .....</b>	<b>53</b>
2.1. Основные сведения по теории резания металлов .....	53
2.2. Режимы резания. Выбор и расчет .....	58
2.3. Инструментальные материалы. Маркировка и свойства .....	62
2.4. Токарные резцы: классификация, конструкция, геометрические параметры .....	74
2.5. Осевые инструменты для обработки отверстий .....	90
2.6. Инструменты для нарезания резьбы .....	94
2.7. Фрезы .....	98
<b>Шаг 3. Устройство фрезерного и токарного станков с ЧПУ. Наладка станка с ЧПУ.....</b>	<b>102</b>
3.1. Устройство фрезерного станка с ЧПУ .....	102
3.2. Устройство токарного станка с ЧПУ .....	107
3.3. Наладка станка с ЧПУ .....	111
<b>Шаг 4. Основы программного управления металлорежущим оборудованием .....</b>	<b>121</b>
4.1. Система координат станка и детали .....	121
4.2. Основы программного управления. Код ISO-7bit .....	125
<b>Шаг 5. Программирование фрезерной и токарной обработки деталей на станках с ЧПУ .....</b>	<b>130</b>
5.1. Программирование фрезерной обработки .....	130
5.1.1. Интерфейс программы Linux CNC: фрезерная обработка ...	130
5.1.2. Программирование линейных перемещений.....	133
5.1.3. Программирование круговых перемещений.....	139
5.1.4. Программирование сверления отверстий .....	147
5.1.5. Программирование обработки пазов на детали.....	153



5.2. Программирование токарной обработки .....	160
5.2.1. Интерфейс программы Linux CNC: токарная обработка .....	160
5.2.2. Программирование линейных перемещений .....	164
5.2.3. Программирование круговых перемещений.....	173
<b>Заключение.....</b>	<b>184</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>185</b>
<b>Приложение 1. Эскизы деталей для самостоятельной работы .....</b>	<b>187</b>
<b>Приложение 2. Основные термины, формулы и единицы измерения .....</b>	<b>192</b>
<b>Приложение 3. Советы по технике безопасности при эксплуатации станков с ЧПУ.....</b>	<b>193</b>

## Введение

Интенсификация процесса технического перевооружения машиностроения индустриально развитых стран, существенное повышение уровня его автоматизации, широкомасштабное распространение новейших форм организации и управления производством, начавшиеся в XX в., продолжили свое развитие и в первой половине XXI в.

Станки с числовым программным управлением (ЧПУ) нашли широкое применение в современном машиностроении. Их внедрение является одним из главных направлений автоматизации среднего и мелкосерийного производства.

В станках с ЧПУ гибкость универсального оборудования сочетается с точностью и производительностью станка-автомата. В результате внедрения станков с ЧПУ происходит повышение производительности труда, создаются условия для многостаночного обслуживания. Подготовка производства переносится в сферу инженерного труда, сокращаются ее сроки, упрощается переход на новый вид изделия вследствие заблаговременной подготовки программы, что имеет большое значение в условиях рыночной экономики.

На станках с ЧПУ целесообразно изготавливать детали сложной конфигурации, при обработке которых необходимо перемещение рабочих органов по нескольким координатам одновременно, а также детали с большим количеством переходов обработки.

Модернизация машиностроительных предприятий и замена устаревшего металлообрабатывающего оборудования на более современное является одним из ключевых направлений развития машиностроения в России. Внедрение станков с ЧПУ позволяет повысить производительность труда, точность изготовления деталей, выполнять сложные конфигурации деталей.

Эксплуатация современных высокотехнологичных обрабатывающих центров требует глубокой и разносторонней подготовки оператора станков с ПУ, работающего на этом оборудовании. При помощи компьютерных технологий они должны разрабатывать управляющие программы для обработки различных конфигураций обрабатываемых поверхностей.

Курс ориентирован на формирование теоретических знаний и практических умений и навыков выбора инструмента, наладки, настройки и программирования обработки на станках с ЧПУ у преподавателей общеобразовательных учебных заведений и допол-

нительного профессионального образования по обучению работе на станках с числовым программным управлением.

Курс включает в себя теоретические основы и практические работы, каждый учебный элемент завершается тестом. Курс предназначен для образовательных организаций, использующих учебные станки с числовым программным управлением на базе системы Linux CNC.

Курс построен по модульной технологии обучения, базирующейся в данном случае на европейской концепции MES (Модулей трудовых навыков). Эта концепция основана на технологии полного усвоения. Учебные элементы в данной концепции представляют собой пошаговое руководство по освоению определенного вида деятельности, подкрепленное графическими изображениями. Каждому текстовому абзацу в учебных элементах MES-концепции соответствует рисунок, который иллюстрирует данный абзац.

Авторы выражают глубокую благодарность издательству «Юрайт», которое выступило с инициативой создания настоящего курса, существенно отличающегося от других учебных пособий по обучению работам на станках с ЧПУ.

Курс ориентирован на обучение в образовательных организациях СПО по таким профессиям, как 15.01.32 «Оператор станков с программным управлением», 15.01.23 «Наладчик станков и оборудования в механообработке», 15.01.33 «Токарь на станках с числовым программным управлением», 15.01.34 «Фрезеровщик на станках с числовым программным управлением», а также по таким специальностям СПО, как 15.02.08 «Технология машиностроения», 15.02.07 «Технология металлообрабатывающего производства».

При обучении по рабочим профессиям курс ориентирован на формирование таких профессиональных компетенций, как:

- выполнение подготовки и обслуживания рабочего места для работы на токарных и фрезерных металлорежущих станках с ЧПУ;
- осуществление подготовки к использованию инструмента, оснастки, подналадки токарных и фрезерных металлорежущих станков с ЧПУ;
- определение последовательности и оптимальных режимов обработки различных изделий на токарных и фрезерных металлорежущих станках с ЧПУ;
- разработка управляющих программ с применением систем CAD/CAM и выполнение диалогового программирования с пульта управления станком;
- перенос программы на станок с ЧПУ, адаптация разработанных управляющих программ на основе анализа входных данных, технологической и конструкторской документации;
- ведение технологического процесса обработки и доводки деталей, заготовок и инструментов на токарных и фрезерных метал-

лорежущих станках с ЧПУ с соблюдением требований к качеству, в соответствии с заданием и технической документацией.

При обучении по специальностям СПО, ориентированным на современные технологии механообрабатывающего производства, курс ориентирован на формирование таких компетенций, как:

- составление маршрутов изготовления деталей и проектирование технологических операций механической обработки деталей на токарных и фрезерных металлорежущих станках с ЧПУ;

- разработка и внедрение управляющих программ обработки деталей на токарных и фрезерных металлорежущих станках с ЧПУ в целях реализации принятой технологии изготовления деталей на механических участках машиностроительных производств, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования;

- использование систем автоматизированного проектирования технологических процессов обработки деталей на токарных и фрезерных металлорежущих станках с ЧПУ.

Также курс может быть использован для ознакомления учащихся общеобразовательных школ с основами проектирования технологий обработки деталей, разработки управляющих программ и выполнения механической обработки деталей на станках с ЧПУ.

# Шаг 1

## ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЧЕРЧЕНИЯ

### 1.1. Изображения на чертежах

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

- различать виды изображений на чертеже;
- понимать изображения на чертежах и уметь их интерпретировать.

В России изображения на чертежах выполняются в соответствии с ГОСТ 2.305—2008. В соответствии с ГОСТ разливают следующие изображения на чертежах:

- виды;
- сечения;
- разрезы;
- выносные элементы.

#### Изображения на чертежах

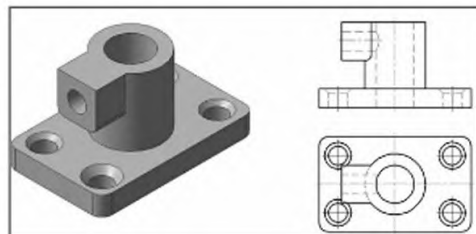
Виды

Разрезы

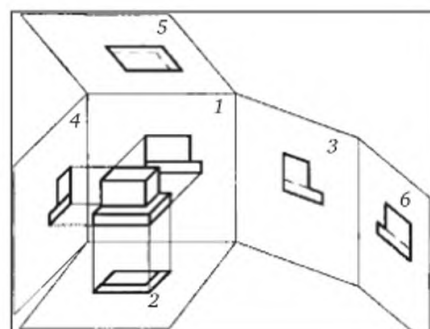
Выносные элементы

*Вид* — изображение видимой части предмета. При этом предмет располагается между наблюдателем и плоскостью, на которую проецируется данное изображение.

Виды

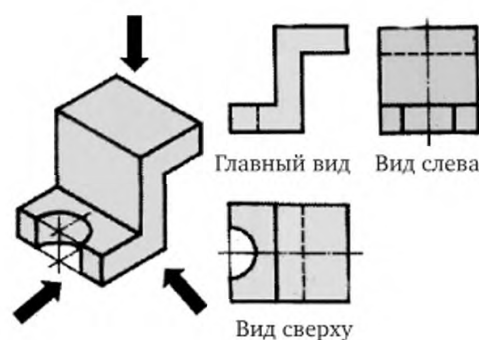


В России используется европейская система видов (вид спереди, вид сверху, вид слева, вид сзади, вид снизу, вид справа).



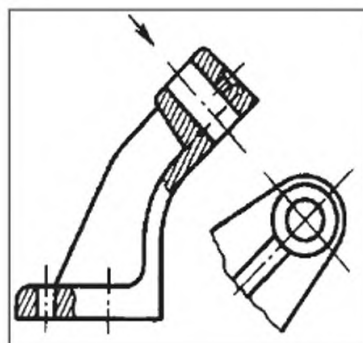
На практике чаще всего используют три вида:

- главный вид (вид спереди, который дает наиболее полное понимание конструкции предмета);
- вид сверху;
- вид слева.



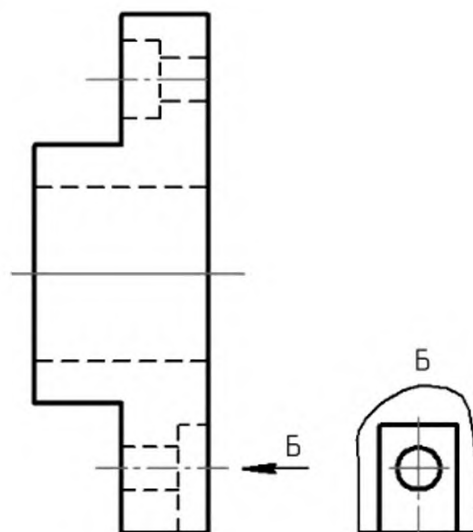
Также используют дополнительные виды, которые располагаются на плоскостях, не перпендикулярных ни одной плоскости проекций.

Дополнительный вид



Местные виды показывают устройство предмета в одном ограниченном месте.

Местный вид





*Сечение* — изображение, которое получается при мысленном рассечении предмета одной секущей плоскостью. При этом на сечении изображается только то, что попало в секущую плоскость.

Сечения обозначаются буквами русского алфавита и стрелками, которые указывают направление взгляда. Изображение сечения заштриховано под углом  $45^\circ$ . И это отличает его от вида.

Различают следующие виды сечений:

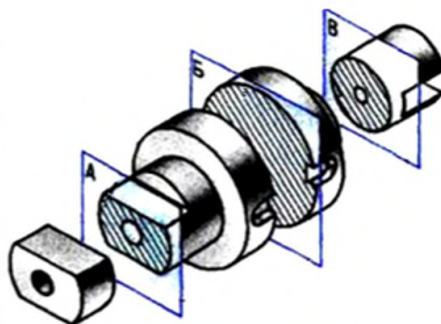
- наложенные сечения;
- вынесенные сечения.

*Наложенные сечения* — изображение сечения накладывается прямо на изображение вида. Выполняется тонкой линией и заштриховывается. Если деталь несимметричная, то указывается стрелками направление взгляда на фигуру сечения.

*Вынесенные сечения* могут быть трех видов:

- в обрыве детали;
- в проекционной связи с основным изображением;
- вне проекционной связи с основным изображением.

## Сечение

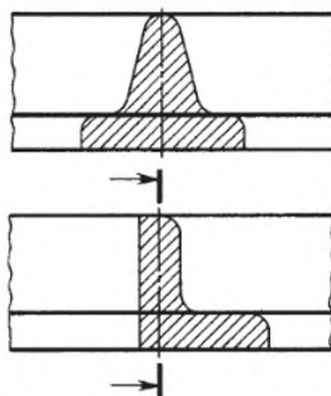


## Сечения

Наложенные

Вынесенные

## Наложенные сечения



## Вынесенные сечения

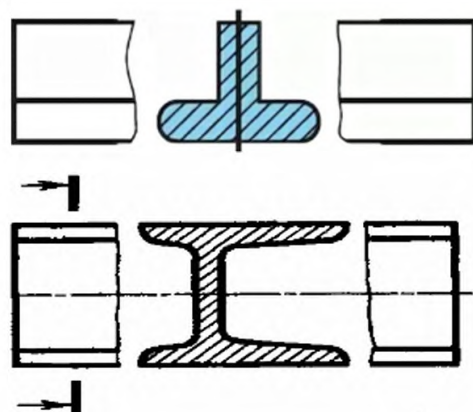
в обрыве детали

в проекционной  
связи

вне проекционной  
связи

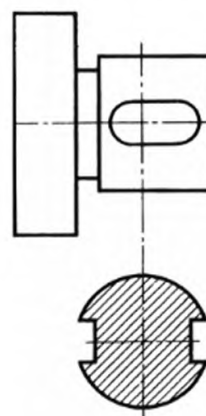
Сечения в обрыве детали выполняются сплошной основной линией и штрихуются. Если деталь несимметричная, то указывается стрелками направление взгляда на фигуру сечения.

Сечения в обрыве детали



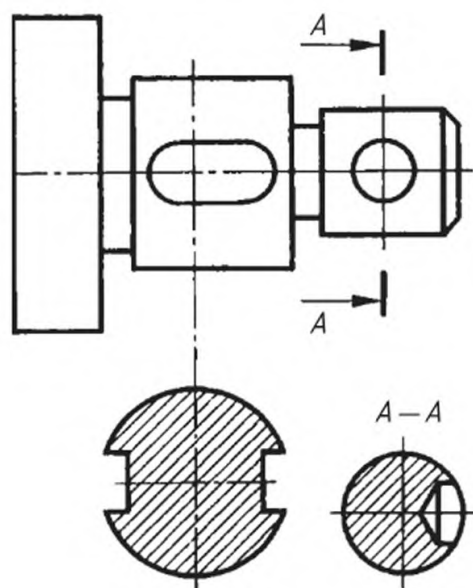
Сечения, выполненные проекционной связи с основным изображением, не обозначаются, но выполняются сплошной основной линией и штрихуются.

Сечения проекционной связи



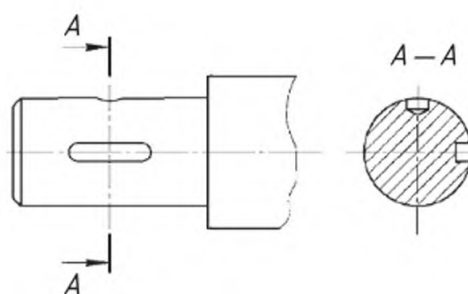
Сечения вне проекционной связи

Сечения, выполненные вне проекционной связи, обозначаются полностью.





На сечениях все отверстия показываются закрытыми линиями, а все пазы — открытыми.



**Разрез** — изображение, которое получается при мысленном рассечении предмета одной секущей плоскостью. При этом на разрезе изображается то, что попало в секущую плоскость, и то, что лежит за пределами секущей плоскости.

Разрез обозначается так же, как сечение.

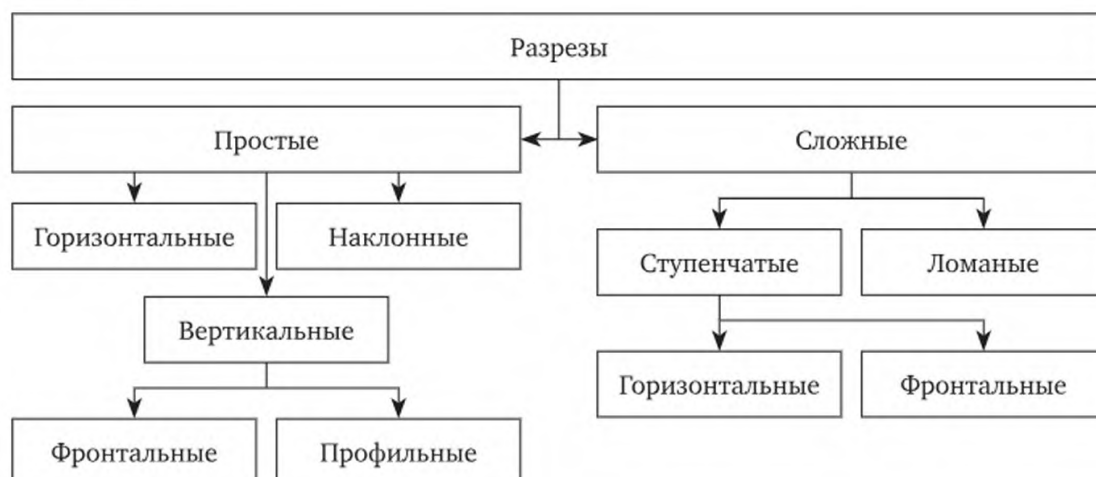
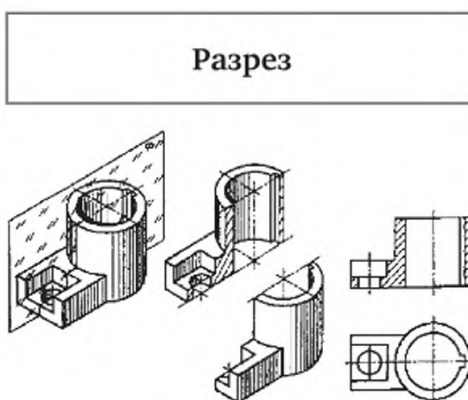
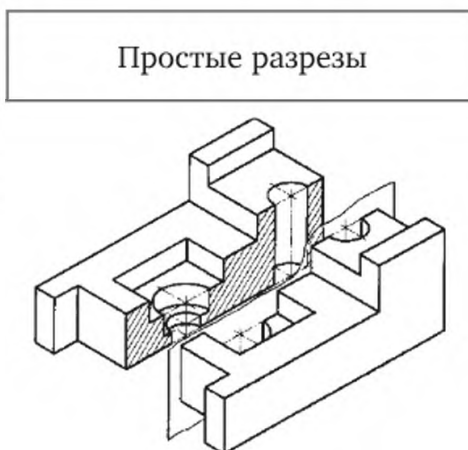
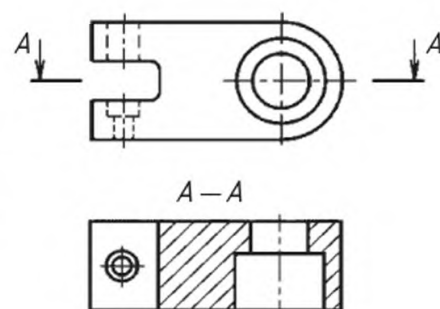


Рис. 1.1. Классификация разрезов

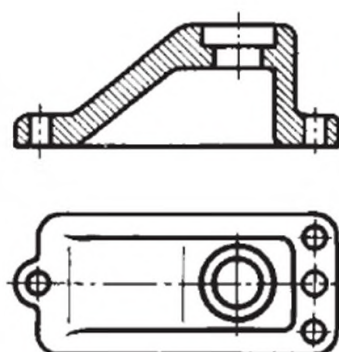
**Простые разрезы** получаются в результате рассечения детали одной секущей плоскостью.



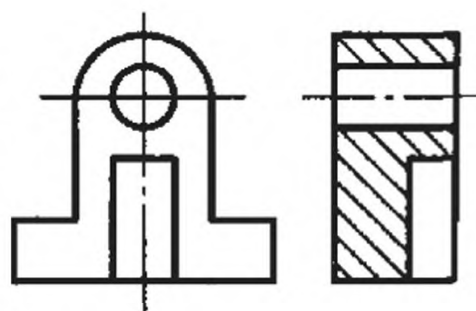
Горизонтальный простой разрез получен в результате рассечения детали горизонтальной секущей плоскостью. Горизонтальный разрез располагается на месте вида сверху.



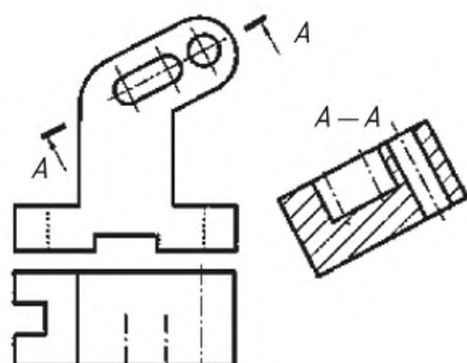
Фронтальный простой разрез получен в результате рассечения детали фронтальной секущей плоскостью. Фронтальный разрез располагается на месте главного вида.



Профильный простой разрез получен в результате рассечения детали профильной секущей плоскостью. Профильный разрез располагается на месте вида слева.

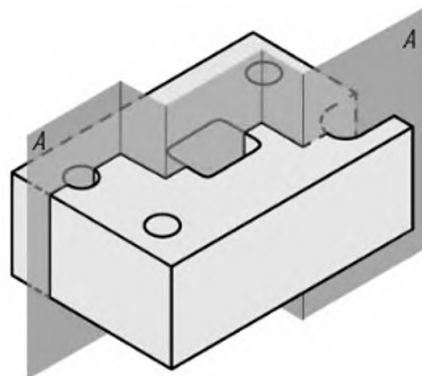


Наклонный простой разрез получен в результате рассечения детали секущей плоскостью, которая располагается под углом к горизонтальной.

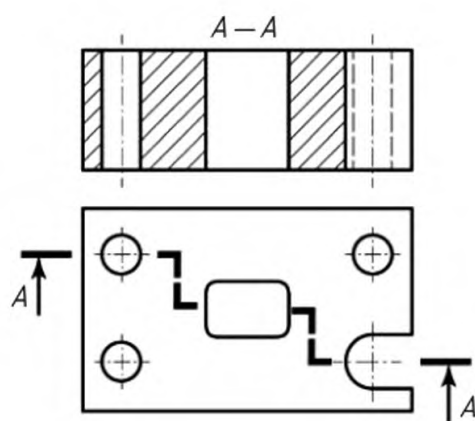


## Сложные разрезы

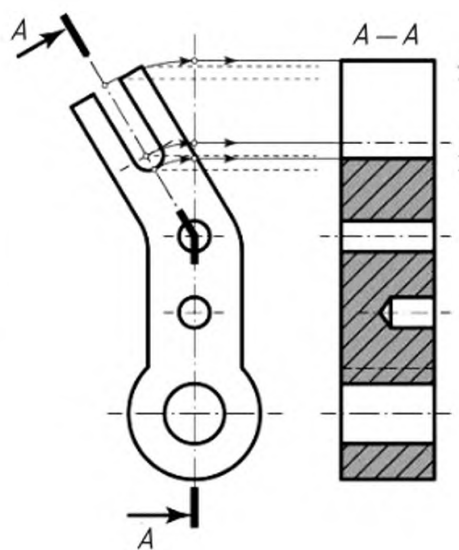
Сложные разрезы получают двумя и более секущими плоскостями и могут быть ступенчатыми и ломаными.



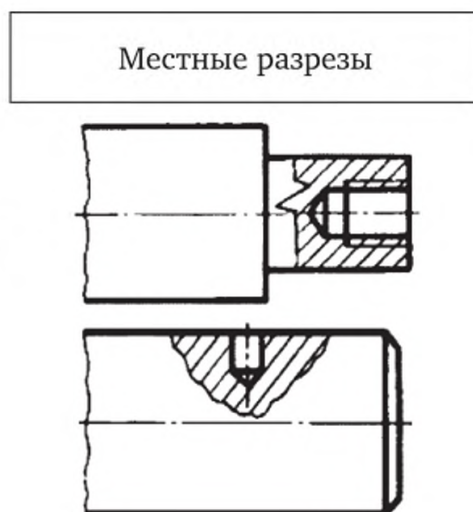
Ступенчатые сложные разрезы получают в результате рассечения детали параллельными секущими плоскостями.



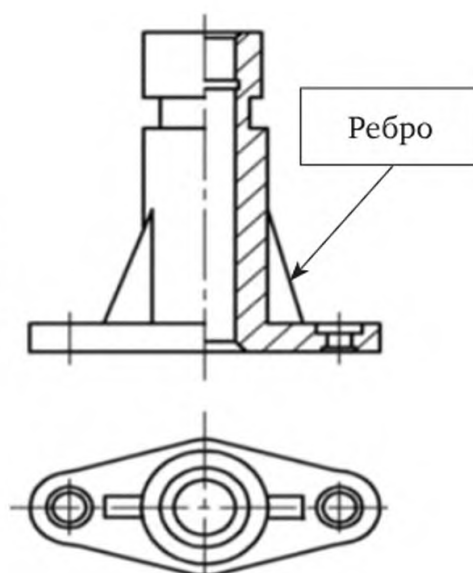
Ломанные сложные разрезы получают в результате рассечения детали пересекающимися секущими плоскостями.



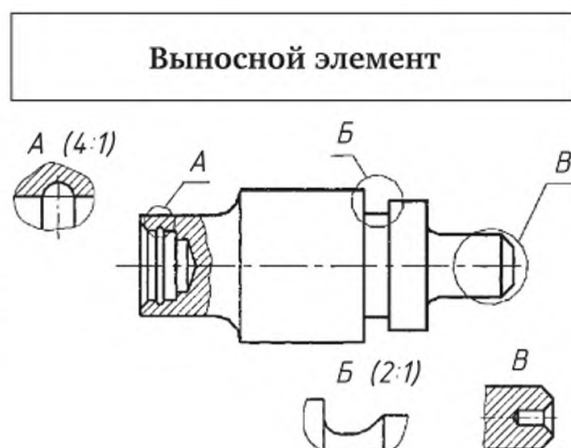
Чтобы показать устройство детали в отдельном ограниченном месте, используют местные разрезы.



Разрезы штрихуются так же, как и сечения. Если в разрез попало тонкое ребро, его штриховать не следует. Для деталей допускается соединять часть вида и часть разреза.



*Выносной элемент* — дополнительное отдельное изображение (обычно увеличенное) какой-либо части предмета, требующей графического и других пояснений в отношении формы, размеров и иных данных.

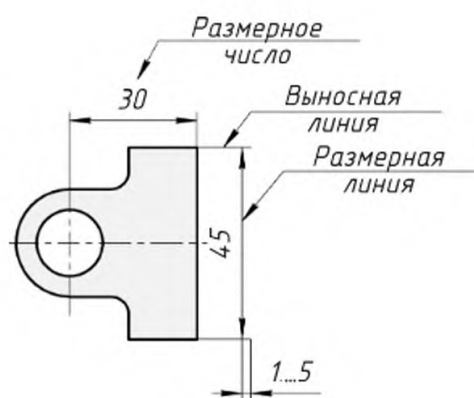
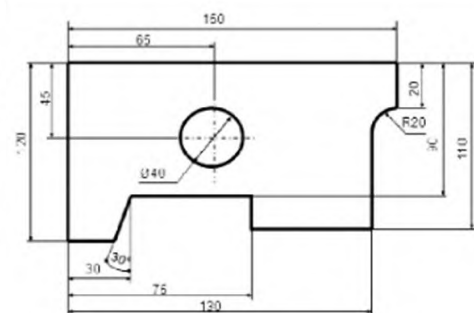


Все рабочие чертежи деталей должны иметь размеры. На чертеже проставляются все необходимые размеры. Каждый размер проставляется только один раз.

На чертеже не должно быть изображений, которые не имеют представленных размеров.

Размеры на чертеже ограничиваются выносными линиями и обозначаются размерной линией со стрелками и размерным числом, которое ставится или сверху или слева по отношению к размерной линии.

## Местные разрезы



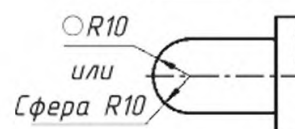
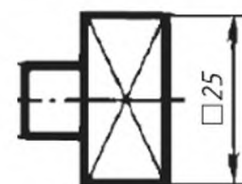
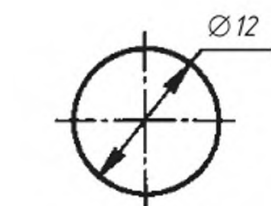
Используются специальные значки для обозначения:

— диаметральных размеров;

— радиальных размеров;

— размеров квадрата;

— размера сферы.



## 1.2. Точность размеров. Понятие о допуске на размер

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

- различать виды размеров;
- различать виды отклонений;
- интерпретировать записанные размеры на чертежах;
- определять и записывать допуски на размер.

**Размеры** выражают числовые значения линейных величин (диаметров, длин и т.д.) в выбранных единицах.

Размеры выражают числовые значения линейных величин

Различают следующие типы размеров:

- номинальные ( $D, d$ );
- действительные ( $D_1, d_1$ );
- предельные ( $D_{пр}, d_{пр}$ ).

Типы размеров

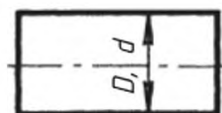
Номинальные

Действительные

Предельные

**Номинальным размером ( $D, d$ )** называется размер, определяемый функциональным назначением детали. Номинальные размеры — основные размеры деталей и их соединений.

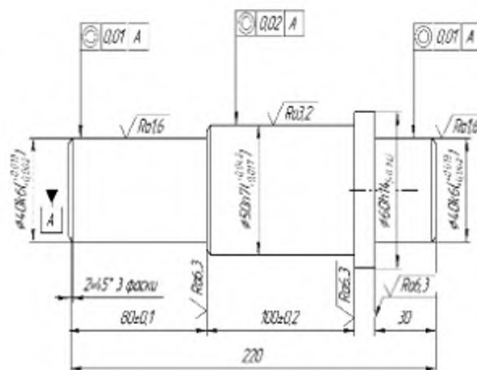
Номинальный размер



Номинальные размеры валов обозначаются малыми буквами латинского алфавита, отверстий — большими буквами.

$D, H, F$  — отверстия  
 $d, h, f$  — валы

Номинальные размеры детали проставляются на чертеже. Значения номинальных размеров округляют в большую сторону.



**Действительным размером ( $D_r$ ,  $d_r$ )** называется размер, получаемый измерением с допускаемой погрешностью.

#### Действительный размер



Действительные размеры валов обозначаются малыми буквами латинского алфавита с индексом  $r$ , отверстий — большими буквами с индексом  $r$ .

$D_r, H_r, F_r$  — отверстия  
 $d_r, h_r, f_r$  — валы

Действительный размер получается при измерении детали после обработки.



**Предельным размером ( $D_{\max}, D_{\min}$ ,  $d_{\max}, d_{\min}$ )** называется размер, ограничивающий интервал значений, между которыми должен находиться действительный размер годной детали.

#### Предельный размер



Предельные размеры валов обозначаются малыми буквами латинского алфавита с индексом  $\min$  или  $\max$ , отверстий — большими буквами с индексом  $\min$  или  $\max$ .

$D_{\max}, H_{\min}, F_{\max}$  —  
отверстия  
 $d_{\max}, h_{\min}, f_{\max}$  — валы

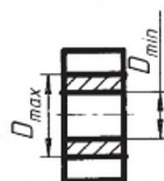
Различают следующие виды предельных размеров:

#### Виды предельных размеров



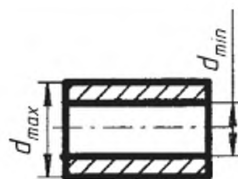
- наибольший предельный размер отверстия ( $D_{\max}$ );
- наименьший предельный размер отверстия ( $D_{\min}$ );

#### Предельные размеры отверстия



- наибольший предельный размер вала ( $d_{\max}$ );
- наименьший предельный размер вала ( $d_{\min}$ ).

#### Предельные размеры вала



Действительные размеры отличаются от номинального размера на величину отклонений.

$$E = D_1 - D; \quad e = d_1 - d$$

**Предельным отклонением ( $E, e$ )** называется алгебраическая разность предельного и номинального размеров. Отклонения обозначают буквами латинского алфавита отверстий —  $E$ , валов —  $e$ .

$E$  — отклонения отверстий  
 $e$  — отклонения валов

Различают три типа отклонений:

- верхнее ( $ES, es$ );
- нижнее ( $EI, ei$ );
- среднее ( $E_m, e_m$ ).

#### Типы отклонений

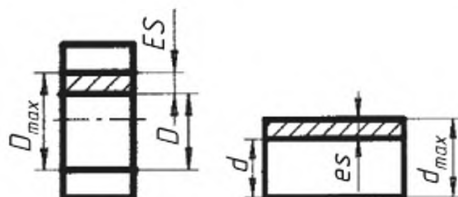
Верхнее отклонение

Нижнее отклонение

Среднее отклонение

#### Верхнее отклонение

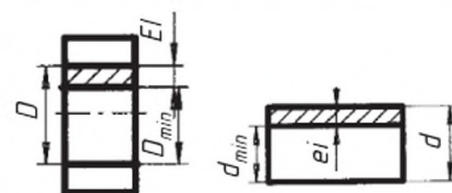
**Верхнее отклонение ( $ES, es$ )** равно алгебраической разности между наибольшим предельным и номинальным размерами.



$$ES = D_{\max} - D; \quad es = d_{\max} - d$$

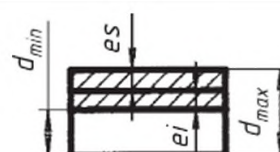


**Нижнее отклонение** ( $EI, ei$ ) равно алгебраической разности между наименьшим предельным и номинальным размерами.



$$EI = D_{\min} - D; \quad ei = d_{\min} - d$$

**Среднее отклонение** ( $E_m, e_m$ ) равно полусумме верхнего и нижнего отклонений.



$$E_m = 0,5(ES + EI)$$

$$e_m = 0,5(es + ei)$$

Отклонения могут быть положительными или отрицательными.

$$\begin{aligned} \varnothing 20 + 0,1 \\ \varnothing 20 - 0,1 \end{aligned}$$

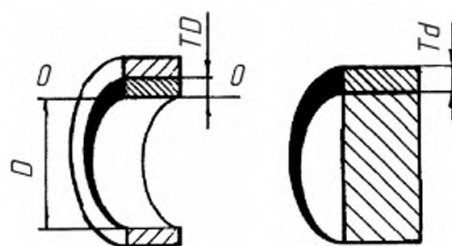
Значения верхних и нижних предельных отклонений на чертежах проставляют в миллиметрах с их знаками непосредственно после номинального размера.

$$\varnothing 20 + 0,5$$

Если отклонения имеют одинаковые значения, то их пишут вслед за номинальным размером таким же шрифтом со знаком  $\pm$ .

$$\varnothing 20 \pm 0,5$$

**Допуск** ( $T$  — общее обозначение,  $TD$  — отверстия,  $Td$  — вала) равен разности наибольшего и наименьшего предельных размеров или абсолютной величине алгебраической разности верхнего и нижнего отклонений.



$$\begin{aligned} TD &= D_{\max} - D_{\min}; \\ Td &= d_{\max} - d_{\min}; \\ TD &= ES - EI; \\ Td &= es - ei \end{aligned}$$

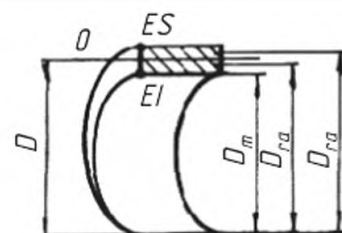
Допуск всегда является положительной величиной.

$T$  — всегда положителен

От допуска зависит точность размера — с уменьшением допуска точность размера увеличивается.

$$\begin{aligned} T \uparrow &\Rightarrow \text{точность размера} \downarrow \\ T \downarrow &\Rightarrow \text{точность размера} \uparrow \end{aligned}$$

**Поле допуска** называется зона между верхним и нижним отклонением, в пределах которой должен находиться действительный размер детали.



Поля допусков отверстий обозначаются большими буквами латинского алфавита, валов — малыми буквами.

*E, F, G, H* — отверстия  
*e, f, g, h* — валы

Точность размеров детали и допуск размеров определяются качеством. Поэтому стандартные системы допусков содержат ряд качеств.

Точность размера и допуск определяются качеством.

**Квалитет** — это степень точности.

Квалитет — степень точности

Допуски качеств обозначают цифрами в порядке убывания точности. В машиностроении существует 19 качеств.

Квалитеты  
в машиностроении:  
01, 0, 1, 2,  
3, 4, ..., 17

Сокращенно допуск по качеству обозначается латинскими буквами IT и номером качества.

**IT 14**  
допуск по 14 качеству

С увеличением номера качества точность размера уменьшается и наоборот.

00 → 17 — точность размеров ↓  
17 → 00 — точность размеров ↑

**Правила нанесения размеров и предельных отклонений на чертежах:**

**Правила нанесения размеров на чертежах**

— обозначение размеров и допусков размеров на чертеже производится слева направо;

Обозначение размеров на чертеже производится слева направо

— все размеры, допуски и отклонения записываются в миллиметрах;

Все размеры и их допуски  
в мм

— записывается номинальный размер соединения;

45 H7 ( $\pm 0,01$ )



Номинальный размер

— записывается поле допуска;

45 H7 ( $\pm 0,01$ )



Поле допуска

— записывается номер качества;

45 H7 ( $\pm 0,01$ )



Номер качества

— в скобках записываются верхнее и нижнее отклонения;

45 H7 ( $\pm 0,01$ )



Номер качества

— высота цифр отклонений в два раза меньше высоты цифр номинального размера;

$\varnothing 45^{+0,01}_{-0,02}$

— отклонения помещают справа после номинальных размеров, верхнее отклонение помещается над нижним;

Верхнее отклонение

$\varnothing 45^{+0,01}_{-0,02}$



Нижнее отклонение

— равные нулю отклонения не проставляются;

$\varnothing 45^{+0,01}$

— число знаков в верхнем и нижнем отклонении выравнивают;

$$\varnothing 45 \begin{smallmatrix} +0,01 \\ -0,10 \end{smallmatrix}$$

— на сборочных чертежах в числителе указывают предельные отклонения отверстий, в знаменателе — валов.

$$\varnothing 45 \begin{smallmatrix} h9 + 0,06 \\ h8 - 0,04 \end{smallmatrix}$$

### 1.3. Допуски формы и расположения поверхностей деталей

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

- называть основные термины для определения допусков формы и расположения поверхностей;
- различать типы отклонений формы и расположения поверхностей;
- различать обозначения допусков формы и расположения поверхностей на чертежах.

Отклонения формы и расположения поверхностей — основные геометрические характеристики точности деталей машин.

Отклонения формы  
и расположения  
поверхностей —  
геометрические  
характеристики точности  
деталей машин

Для определения допусков формы и расположения поверхностей установлены следующие **основные понятия**:

- форма;
- поверхность;
- профиль;
- нормируемый участок.

Основные понятия  
для определения допусков  
формы и расположения  
поверхностей

↓  
Форма  
Профиль  
Поверхность  
Нормируемый участок

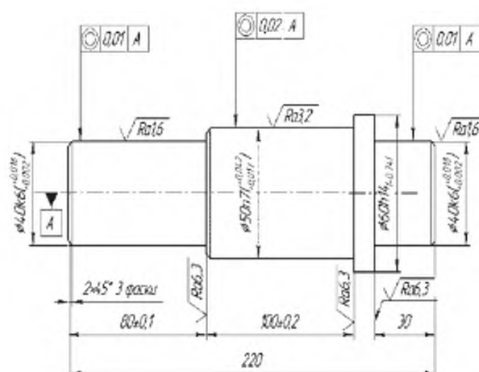
**Форма** может быть:

- номинальной;
- реальной.

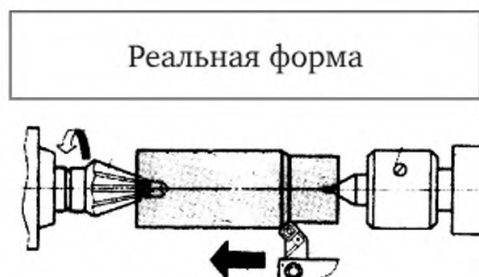
Форма

↓  
Номинальная форма

Номинальной формой называется идеальная форма детали, заданная чертежом.



Реальной формой называется форма реальной детали, образовавшаяся в результате обработки детали.



**Поверхность** может быть:

- номинальной;
- реальной;
- прилегающей.

Номинальной поверхностью называется идеальная поверхность, размеры и форма которой соответствуют заданным в технических документах.



Реальной поверхностью называется поверхность, ограничивающая деталь и отделяющая ее от окружающей среды.



Прилегающей поверхностью называется поверхность, имеющая форму номинальной поверхности, соприкасающаяся с реальной поверхностью и расположенная вне материала детали.





**Профилем** называется линия пересечения заданной поверхности перпендикулярной ей секущей плоскостью.

Профиль может быть:

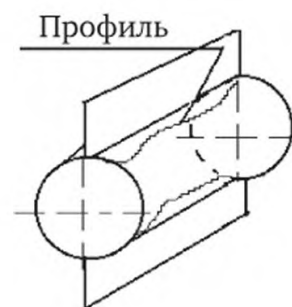
- номинальным;
- реальным;
- прилегающим.

**Номинальным профилем** называется линия пересечения номинальной поверхности с перпендикулярной ей секущей плоскостью.

**Реальным профилем** называется линия пересечения реальной поверхности с перпендикулярной ей секущей плоскостью.

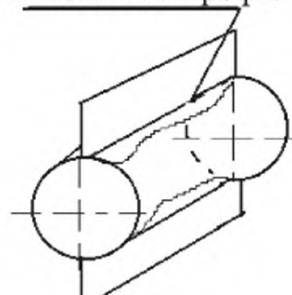
**Прилегающим профилем** называется линия пересечения прилегающей поверхности с перпендикулярной ей секущей плоскостью.

### Профиль



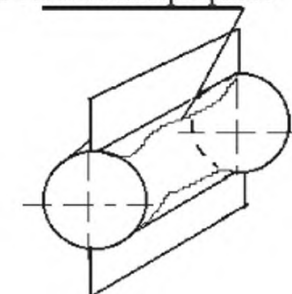
### Номинальный профиль

Номинальный профиль

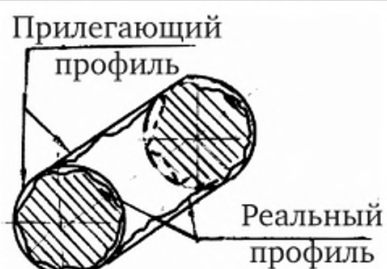


### Реальный профиль

Реальный профиль

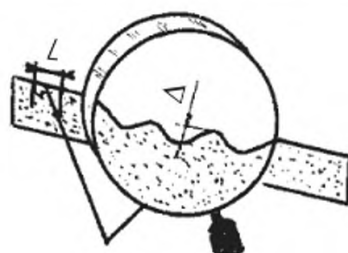


### Прилегающий профиль



**Нормируемым участком** называется участок поверхности или линии профиля, к которому относится допуск формы, допуск расположения поверхности или суммарный допуск.

#### Нормируемый участок



Различают три типа геометрических характеристик точности валов:

- допуски формы валов;
- допуски расположения поверхностей валов;
- суммарные допуски.

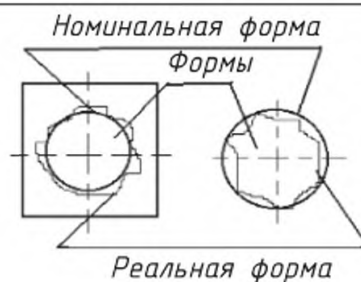
#### Геометрические характеристики точности валов

Допуски формы  
Допуски расположения  
поверхностей  
Суммарные допуски

**Допуском формы** называется наибольшее расстояние от точек реальной поверхности до прилегающей поверхности в пределах нормируемого участка.

**Отклонением формы** называется отклонение формы реального элемента от номинальной формы.

#### Допуски формы валов



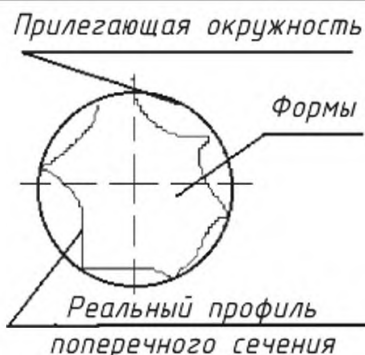
К отклонениям формы поверхностей валов относятся следующие отклонения:

- отклонение от круглости;
- отклонение от цилиндричности;
- отклонение от профиля продольного сечения.

#### Отклонения формы поверхностей валов

Отклонением от круглости называется наибольшая разность между реальным профилем и прилегающей окружностью.

#### Отклонение от круглости

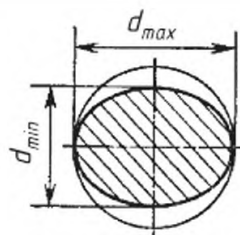


Отклонения от круглости — овальность и огранка.

Овальностью называется отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой эллипс.

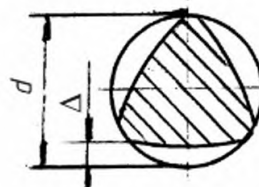
#### Отклонения от круглости

##### Овальность



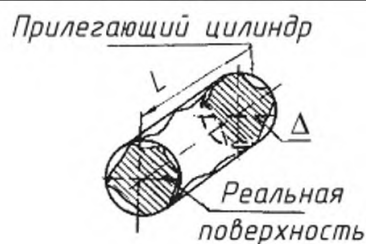
Огранкой называется отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой многогранную фигуру.

##### Огранка



Отклонением от цилиндричности называется разность между реальной поверхностью вала и прилегающим цилиндром.

#### Отклонение от цилиндричности





Отклонением от профиля продольного сечения называется наибольшее расстояние от точек реального профиля до соответствующей стороны прилегающего профиля в пределах нормируемого участка.

Отклонение от профиля продольного сечения

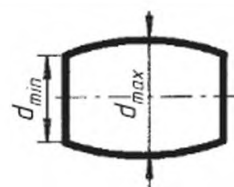
Отклонения от допуска профиля продольного сечения:

- бочкообразность;
- седлообразность;
- конусообразность.

Отклонения от профиля продольного сечения

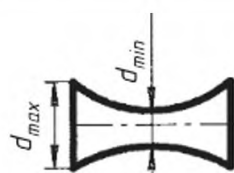
Бочкообразностью называется отклонение от профиля продольного сечения, при котором образующие продольного сечения непрямолинейны и диаметры увеличиваются от торцов к середине продольного сечения.

Бочкообразность



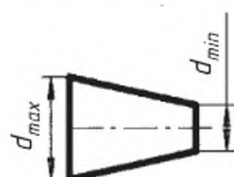
Седлообразностью называется отклонение от профиля продольного сечения, при котором образующие продольного сечения непрямолинейны и диаметры уменьшаются от торцов к середине продольного сечения.

Седлообразность



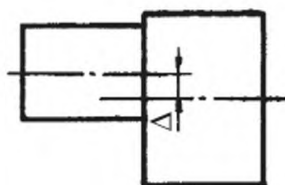
Конусообразностью называется отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие продольного сечения прямолинейны, но не параллельны.

Конусообразность

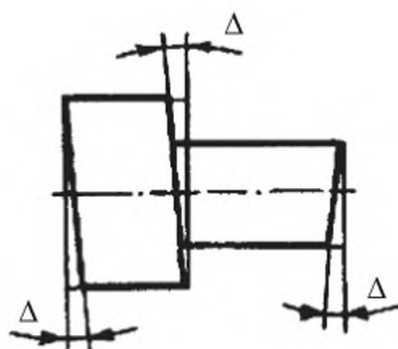


**Допуском расположения поверхностей** называется расстояние от поверхности, внутри которой должны находиться прилегающая поверхность, или ось, или плоскость симметрии рассматриваемого элемента в пределах нормируемого участка.

Допуск расположения поверхностей



Отклонением от расположения поверхностей называется отклонение реального расположения рассматриваемого элемента от его номинального расположения относительно базовых поверхностей.

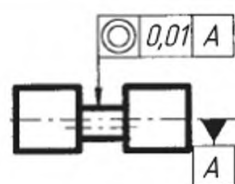


К отклонениям от расположения поверхностей валов относятся следующие:

- отклонение от соосности;
- отклонение от параллельности;
- отклонение от симметричности.

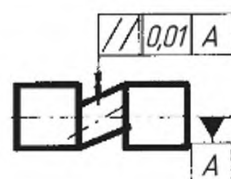
Отклонения от расположения поверхностей валов

Отклонение от соосности



Отклонением от соосности называется наибольшее расстояние между осью рассматриваемой поверхности вращения и осью базовой поверхности на длине рассматриваемого участка.

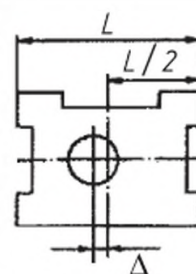
Отклонение от параллельности



Отклонением от параллельности называется разность наибольшего и наименьшего расстояний между осями на длине нормируемого участка.

Отклонением от симметричности называется наибольшее расстояние между плоскостью симметрии рассматриваемого элемента и базой в пределах нормируемого участка.

Отклонение от симметричности



Суммарные допуски отклонения формы и расположения поверхностей возникают одновременно при изготовлении детали и определяются алгебраическим сложением отклонений формы и расположения поверхностей относительно единой базы.

Суммарные допуски отклонения формы и расположения поверхностей



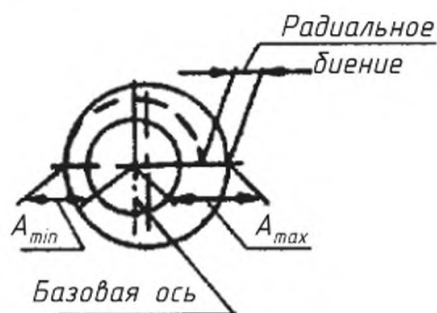
К суммарным допускам формы и расположения поверхностей относятся следующие:

- радиальное биение;
- торцовое биение.

Суммарные допуски

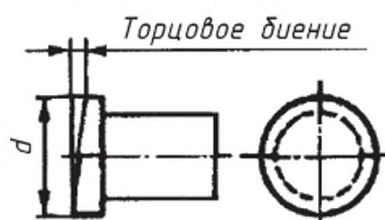
Радиальным биением называется разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения до базовой оси в сечении плоскостью, перпендикулярной базовой оси.

Радиальное биение



Торцовым биением называется разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной к базовой оси вращения.

Торцовое биение



## Обозначение отклонений формы и расположения поверхностей на чертежах

Требования к форме и расположению поверхностей деталей отображаются на чертежах в виде **условных графических обозначений**:

- допуск круглости;
- допуск цилиндричности;
- допуск профиля продольного сечения;
- допуск соосности;
- допуск параллельности;
- допуск симметричности;
- радиальное биение;
- торцовое биение.

Допуски формы и расположения поверхностей могут быть указаны **в знаковой и в текстовой форме**.

Запись в знаковой форме состоит из графического обозначения допуска, числового значения допуска, указания базовой поверхности, относительно которой задан допуск.

## Обозначение отклонений формы и расположения поверхностей на чертежах

### Графические обозначения

○ — допуск круглости

$\text{⌀}$  — допуск цилиндричности

≡ — допуск профиля продольного сечения

◎ — допуск соосности

// — допуск параллельности

≡ — допуск симметричности

↗ — радиальное биение

↑ — торцовое биение

Допуски формы и расположения поверхностей могут быть указаны в знаковой и текстовой форме

### В знаковой форме

//	0,01	A
----	------	---

Допуск параллельности 0,01 мм относительно базовой поверхности А

Запись в текстовой форме состоит из указания вида допуска, указания элемента, для которого задан допуск, числового значения допуска, указания базы, относительно которой задан допуск.

#### В текстовой форме

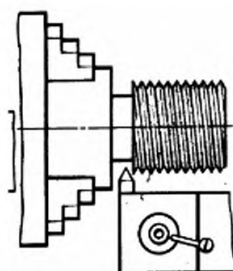
Допуск параллельности оси отверстия А относительно базовой поверхности Б равен 0,01 мм

## 1.4. Качество поверхностей деталей: шероховатость

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

- различать обозначения, принятые для оценки параметров шероховатости;
- интерпретировать обозначения шероховатостей деталей;
- различать группы обозначений шероховатостей поверхности.

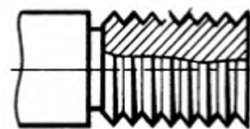
**Шероховатость поверхностей** — совокупность неровностей поверхности различных размеров и формы с относительно малыми шагами на базовой длине.



Параметры и характеристики шероховатости установлены ГОСТ 2789—73.

ГОСТ 2789—73 — параметры и характеристики шероховатости

Шероховатость поверхности оценивается по неровностям профиля, получаемого сечением реальной поверхности перпендикулярной плоскостью.



Для оценки параметров шероховатости поверхности приняты следующие **обозначения**:

- базовая длина ( $L$ );
- средняя линия ( $m$ );
- выступ профиля ( $R_p$ );
- линия выступов профиля;

Обозначения для оценки параметров шероховатости

Базовая длина  
Средняя линия  
Выступ профиля  
Линия выступов профиля  
Впадина профиля  
Линия впадин профиля



- впадина профиля ( $R_v$ );
- линия впадин профиля.

**Базовой длиной ( $L$ )** называется длина ограниченного участка, в пределах которого определяется шероховатость поверхности. Базовая длина измеряется в миллиметрах.

Базовая длина



**Средней линией профиля ( $m$ )** называется линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины суммы площадей над ней и под ней равны.

Средняя линия профиля



Средняя линия профиля нужна для отсчета параметров шероховатости.

Средняя линия нужна для отсчета параметров шероховатости

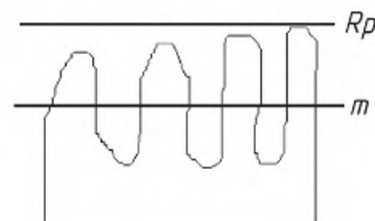
**Выступом профиля ( $R_p$ )** называется часть реального профиля, расположенная выше средней линии профиля и направленная из тела детали.

Выступ профиля



**Линией выступов профиля** называется линия, параллельная средней линии и проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины.

Линия выступов профиля



**Впадиной профиля ( $R_v$ )** называется часть реального профиля, расположенная ниже средней линии и направленная в тело детали.



**Линией впадин** профиля называется линия, параллельная средней линии и проходящая через низшую точку профиля в пределах базовой длины.



В соответствии с ГОСТ 2789—73 установлены следующие **группы количественной оценки параметров шероховатостей**:

- параметры, связанные с высотными свойствами;
- параметры, связанные со свойствами неровностей в направлении длины профиля;
- параметры, связанные с формой неровностей профиля.

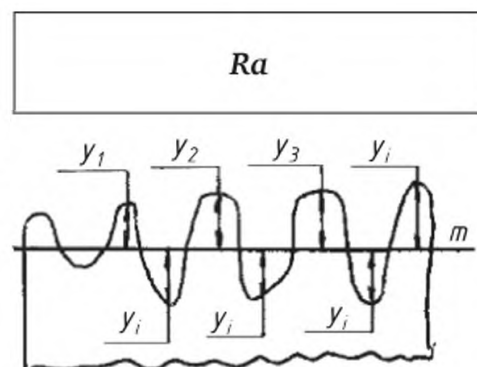


К параметрам, **связанным с высотными свойствами**, относятся следующие:

- среднее арифметическое отклонение профиля ( $Ra$ );
- высота неровностей профиля по десяти точкам ( $Rz$ );
- наибольшая высота неровностей профиля ( $R_{max}$ ).



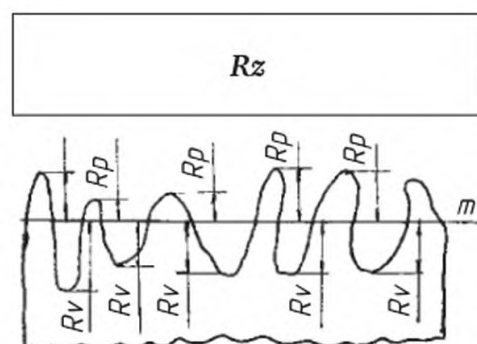
— Средним арифметическим отклонением профиля (**Ra**) называется среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля ( $y_i$ ) в пределах базовой длины.



Среднее арифметическое отклонение профиля определяется по формуле, в которой  $y_i$  — отклонение точки профиля от средней линии (мкм);  $n$  — число выбранных точек профиля на базовой длине и измеряется в микрометрах.

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \text{ (мкм)}$$

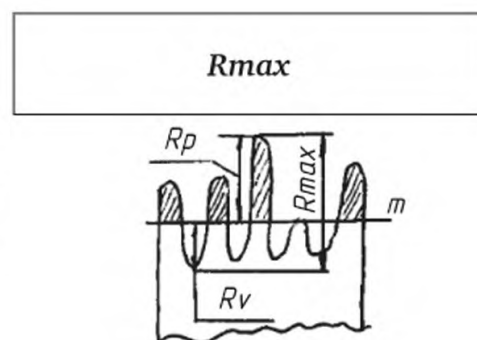
Высотой неровностей профиля по десяти точкам (**Rz**) называется сумма средних абсолютных выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины.



Высота неровностей профиля по десяти точкам определяется по формуле, в которой  $y_{pi}$  — высота пяти наибольших выступов профиля (мкм);  $y_{vi}$  — глубина пяти наибольших впадин профиля (мкм), и измеряется в микрометрах.

$$Rz = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}| \right), \text{ мкм}$$

Наибольшей высотой неровностей профиля (**Rmax**) называется расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины.





Наибольшая высота неровностей профиля определяется по формуле, в которой  $R_p$  — наибольшая высота выступа (мкм),  $R_v$  — наибольшая глубина впадины (мкм), и измеряется в микрометрах.

$$R_{max} = R_p + R_v, \text{ мкм}$$

Наиболее широкое применение в машиностроении нашли такие параметры, как среднее арифметическое отклонение профиля и высота неровностей профиля по десяти точкам.

Наиболее широкое применение в машиностроении нашли параметры  $R_a$  и  $R_z$

ГОСТ 2789—73 устанавливает следующие соотношения параметров шероховатости  $R_a$ ,  $R_z$  и базовой длины.

$R_a$ , мкм	$R_z$ , мкм	$L$ , мм
до 0,025	До 0,1	0,08
0,025 ÷ 0,4	0,1 ÷ 1,6	0,25
0,4 ÷ 3,2	1,6 ÷ 12,5	0,8
3,2 ÷ 12,5	12,5 ÷ 50	2,5
12,5 ÷ 100	50 ÷ 100	8

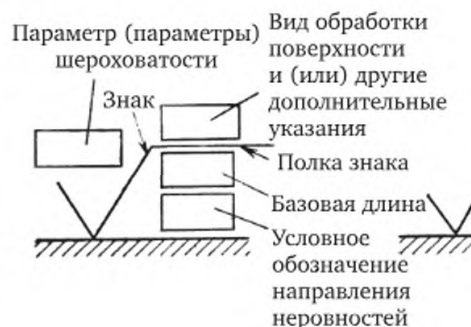
Обозначение шероховатости поверхностей

Обозначение шероховатости

Условные обозначения шероховатости установлены ГОСТ 2.309—73.

ГОСТ 2.309—73 — условные обозначения шероховатости

Структура обозначения шероховатости следующая: параметр шероховатости, вид обработки (полировать, шабрить) или другие дополнительные данные; базовая длина, условное обозначение направления неровностей.



В зависимости от способа обработки поверхностей деталей применяются следующие знаки:

— для поверхностей, на которые не устанавливается вид обработки;

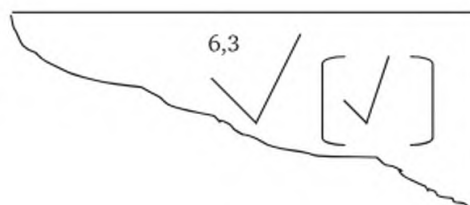
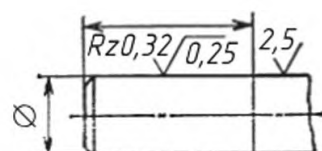
— для поверхностей, образованных удалением слоя материала резанием, шлифованием и т. п.;

— для поверхностей, не обрабатываемых по данному чертежу и полученных без удаления материалов (литьем, ковкой, прокатом и т. д.).

Для отдельных элементов детали знаки шероховатости поверхности с указанием параметра шероховатости проставлены на изображении поверхности.

В правом верхнем углу чертежа дается обозначение шероховатости.

#### Знаки шероховатости

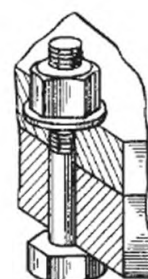


### 1.5. Резьба: виды и основные параметры

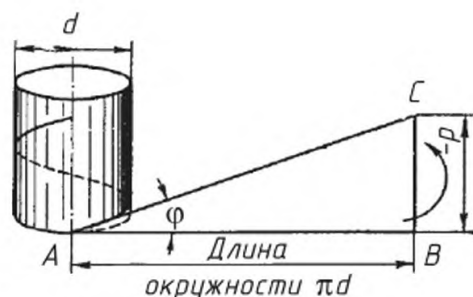
Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

- различать виды резьбы;
- различать основные параметры резьбы;
- интерпретировать обозначения резьбы на чертежах.

Резьбовые соединения применяют для крепления деталей различных конструкций и для преобразования вращательного движения в прямолинейное поступательное.



Резьбой называется винтовая линия, образованная гипотенузой  $AC$  треугольника  $ABC$ , накрученного на цилиндрическую поверхность так, чтобы катет  $AB$ , равный длине окружности цилиндра  $\pi d$ , совпадал с основанием цилиндра.

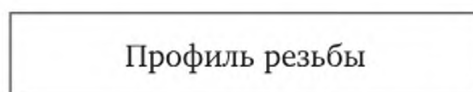


Основными элементами резьбы являются:

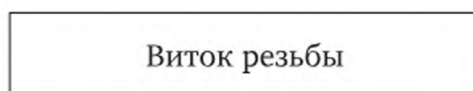
- профиль резьбы;
- виток резьбы;
- вершина профиля резьбы;
- впадина профиля резьбы;
- боковые стороны профиля резьбы.



**Профилем резьбы** называется контур сечения резьбы в плоскости, проходящей через ось резьбы.



**Витком резьбы** называется часть резьбы, образуемая при одном полном обороте профиля.



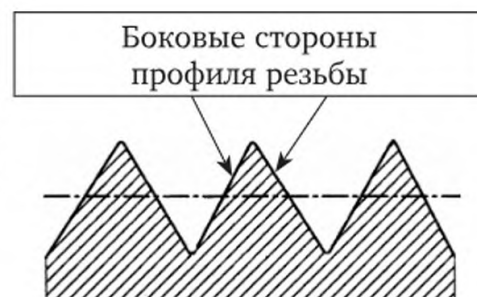
**Вершиной профиля резьбы** называется линия, соединяющая боковые стороны по верху витка.



**Впадиной профиля резьбы** называется линия, образующая вид винтовой канавки.

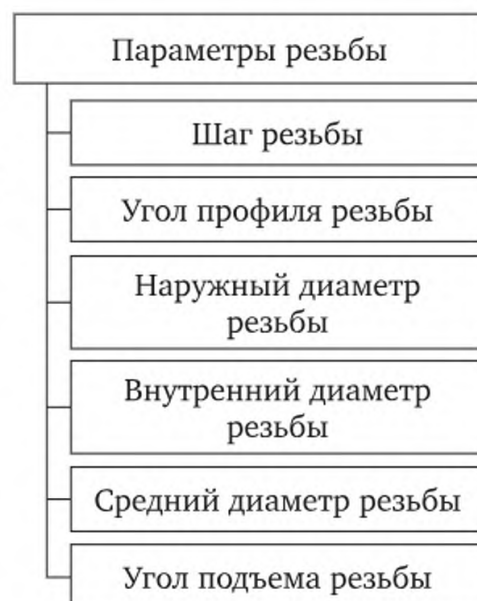


**Боковыми сторонами профиля резьбы** называются прямолинейные участки, принадлежащие винтовым поверхностям профиля.

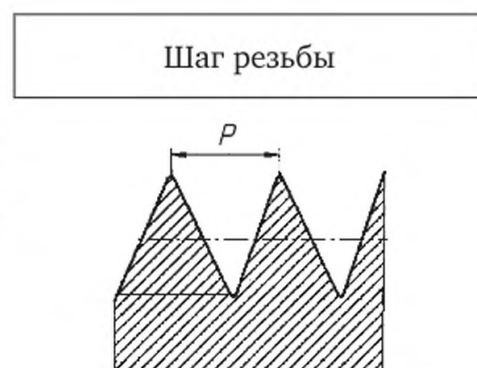


Основными параметрами резьбы являются:

- шаг резьбы;
- угол профиля резьбы;
- наружный диаметр резьбы;
- внутренний диаметр резьбы;
- средний диаметр резьбы;
- угол подъема резьбы.



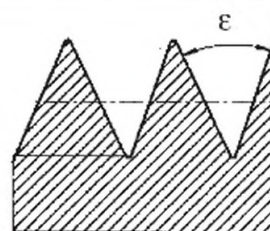
**Шагом резьбы ( $P$ )** называется расстояние между вершинами двух рядом лежащих витков, измеренное вдоль оси резьбы.





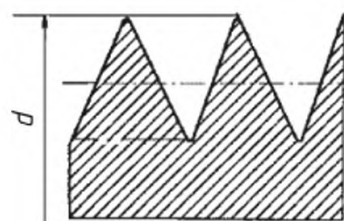
**Углом профиля резьбы ( $\epsilon$ )** называется угол между боковыми сторонами профиля витка резьбы, измеренный в плоскости, проходящей через ось резьбы.

Угол профиля резьбы



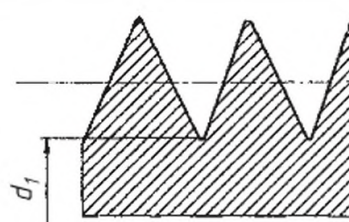
**Наружным диаметром резьбы ( $d$ )** называется диаметр воображаемого цилиндра, описанного вокруг вершин наружной резьбы или впадин внутренней резьбы.

Наружный диаметр резьбы



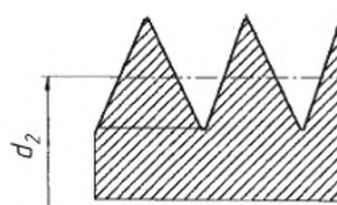
**Внутренним диаметром резьбы ( $d_1$ )** называется диаметр воображаемого цилиндра, вписанного во впадины наружной резьбы или в вершины внутренней резьбы.

Внутренний диаметр резьбы



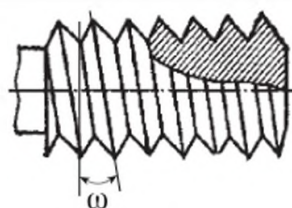
**Средним диаметром резьбы ( $d_2$ )** называется диаметр воображаемого, соосного с резьбой цилиндра, образующая которого пересекает профиль резьбы в точках, где ширина канавки равна половине номинального шага резьбы.

Средний диаметр резьбы



**Углом подъема резьбы ( $\omega$ )** называется угол, образованный направлением выступа резьбы, с плоскостью, перпендикулярной оси резьбы.

Угол подъема резьбы



Угол подъема резьбы зависит от шага резьбы и среднего диаметра резьбы.

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{P}{\pi d_2}$$

### Классификация резьбы

Резьбы классифицируют по следующим признакам:

- по форме поверхности, на которой образуется резьба;
- по расположению на детали;
- по числу заходов;
- по направлению линии резьбы;
- по форме профиля.

### Классификация резьбы

По форме поверхности

По расположению на детали

По числу заходов

По направлению линии резьбы

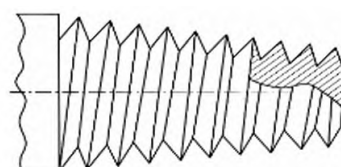
По форме профиля

**По форме поверхности**, на которой образуется резьба различают следующие виды резьбы:

— цилиндрическую резьбу, которая образуется на цилиндрической поверхности;

— коническую резьбу, которая образуется на конической поверхности.

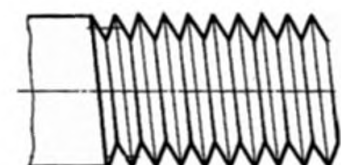
### По форме поверхности



**По расположению на детали** различают следующие виды резьбы:

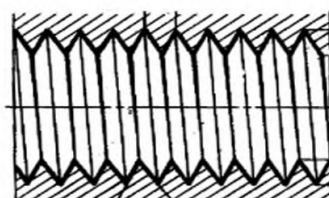
— наружную резьбу, образованную на наружной цилиндрической или конической поверхности;

### По расположению на детали





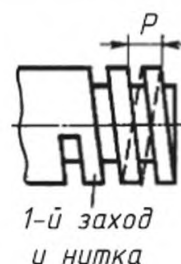
— внутреннюю резьбу, образованную на внутренней цилиндрической или конической поверхности.



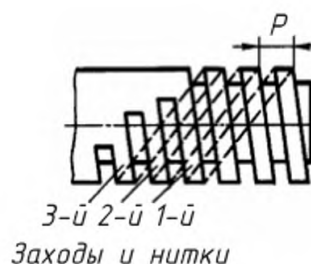
**По числу заходов** различают следующие виды резьбы:

**По числу заходов**

— однозаходную резьбу, образованную одной винтовой линией (резьбовой ниткой);



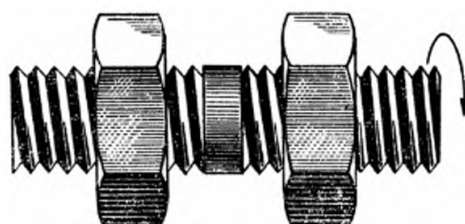
— многозаходную резьбу, образованную несколькими винтовыми линиями (резьбовыми нитками).



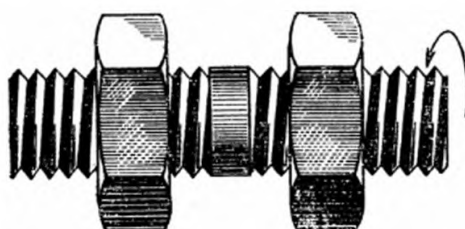
**По направлению линии резьбы** различают следующие виды резьбы:

**По направлению  
линии резьбы**

— правую (правозаходную) резьбу, которая образуется контуром, вращающимся по часовой стрелке и перемещающимся вдоль оси в направлении от наблюдателя;



— левую (левозаходную) резьбу, которая образуется контуром, вращающимся против часовой стрелки и перемещающимся вдоль оси в направлении от наблюдателя.

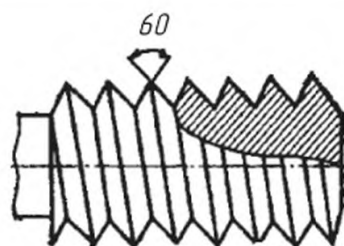


По форме профиля различают следующие виды резьбы:

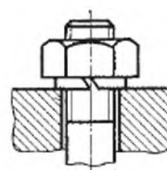
— метрическая резьба, которая имеет треугольный профиль с углом профиля  $\epsilon$  равным  $60^\circ$ .

Метрическая резьба обозначается буквой М, после которой следуют цифры, указывающие наружный диаметр резьбы и через знак  $\times$  — мелкий шаг резьбы. Крупный шаг метрической резьбы не обозначается.

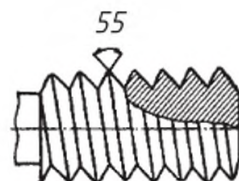
#### По форме профиля



Метрическая резьба широко применяется в крепежных соединениях деталей машин;



— дюймовая резьба, которая имеет треугольный закругленный профиль с углом профиля  $\epsilon$ , равным  $55^\circ$ .



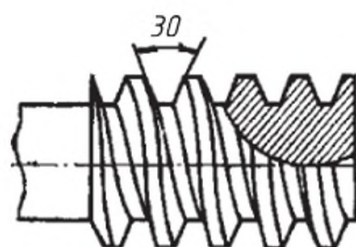
Дюймовая резьба обозначается буквой G, после которой следуют цифры, указывающие внутренний диаметр трубы в дюймах.



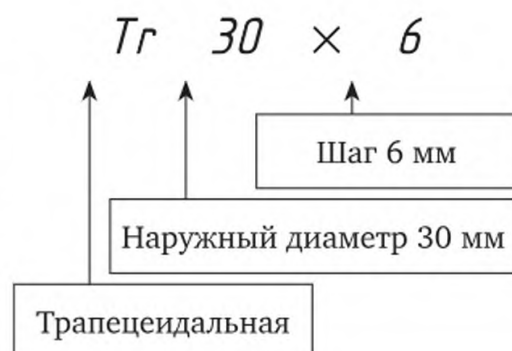
Дюймовая резьба применяется для соединения газовых или водопроводных труб с помощью фитингов;



— трапецеидальная резьба, которая имеет профиль в виде равнобокой трапеции с углом профиля  $\varepsilon = 30^\circ$ .



Трапецеидальная резьба обозначается буквами Tr, после которых следуют цифры, указывающие наружный диаметр резьбы и через знак  $\times$  — шаг резьбы.



Трапецеидальная резьба применяется для ходовых винтов и гаек, преобразующих вращательное движение в прямолинейное поступательное;



— упорная резьба, которая имеет профиль в виде прямоугольной трапеции.



Упорная резьба обозначается буквами S, после которых следуют цифры, указывающие наружный диаметр резьбы и через знак  $\times$  — шаг резьбы.



Упорная резьба применяется для передачи винтом нагрузки в одном направлении (в домкратах, тисках, прессах);



— прямоугольная резьба, которая имеет профиль в виде прямоугольника.



Прямоугольная резьба не имеет стандартизированного обозначения, так как относится к специальным резьбам, для которых на чертежах указываются все необходимые размеры винтовой линии.

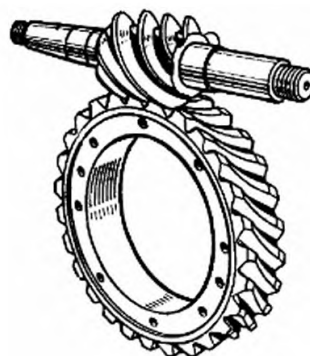
Прямоугольная  
резьба не имеет  
стандартизированного  
обозначения

Прямоугольная резьба применяется для ходовых винтов и гаек, преобразующих вращательное движение в прямолинейное поступательное.



Для червяков применяется специальная модульная резьба, имеющая профиль с углом  $30^{\circ}$ — $40^{\circ}$  и характеризующаяся модулем  $m$  и шагом  $P$ .

Червяк



## 1.6. Чтение чертежа валика

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

— анализировать рабочие чертежи средних валов с высокими требованиями к точности центрирования.

Рабочий чертеж вала является основным документом для изготовления вала.

Рабочий чертеж вала —  
основной документ для его  
изготовления

Чтение чертежа вала диаметром 60 мм и длиной 220 мм производится в следующей последовательности:

- анализ основной надписи;
- анализ формы вала;
- определение размеров вала и их точности;
- определение требований к точности формы и расположения поверхностей вала;
- определение шероховатости поверхностей вала;
- чтение требований к изготовлению вала.

**Последовательность чтения  
чертежа вала  $\varnothing 60$  мм  
и  $L = 220$  мм**

1. Анализ основной надписи
2. Анализ формы вала
3. Определение размеров вала
4. Требования к точности изготовления вала
5. Определение шероховатостей поверхностей
6. Требования к изготовлению вала

Анализ основной надписи производится в следующей последовательности:

**Анализ основной надписи**

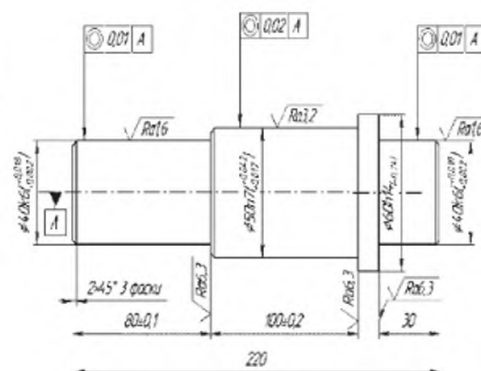
- прочитайте наименование детали;
- прочитайте материал, из которого изготовлен вал и расшифруйте его марку;
- прочитайте сведения о массе вала, о масштабе чертежа и его разработчиках.

				Масса		Масштаб	
Наименование							
Д01.02.12							
Вал редуктора				23		11	
Сталь 45 ГОСТ 1050-2013				ЛАО "Фазан"		КБ 216	
Разработчики							

Анализ формы вала производится в следующей последовательности:

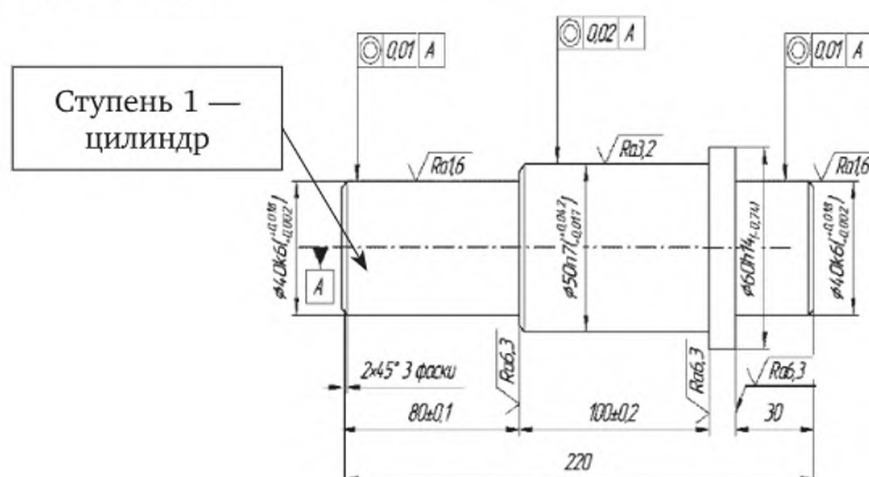
Определите количество ступеней вала, нумерация которых производится справа налево.

Вал имеет 3 ступени  
и буртик

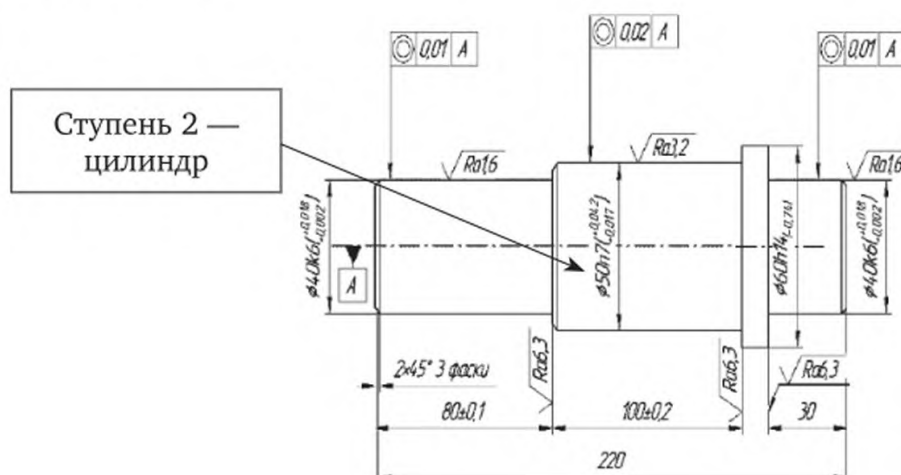




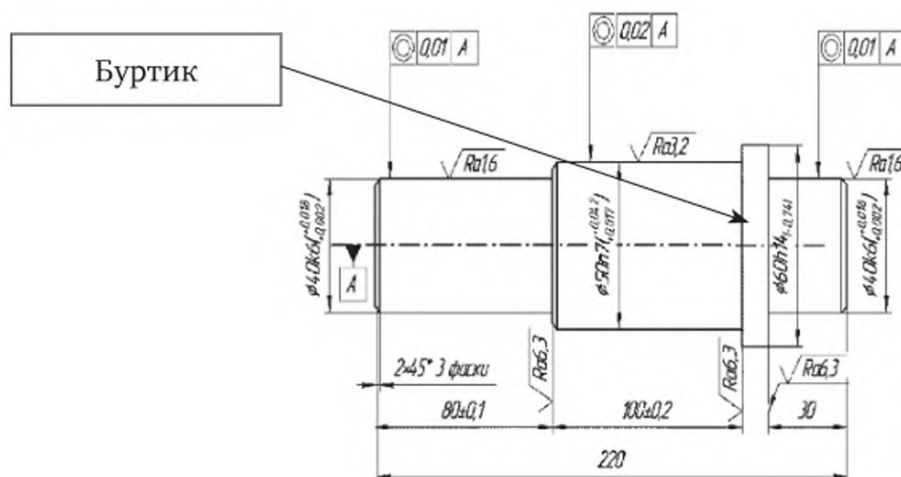
**Ступень 1** имеет цилиндрическую форму, что можно определить по значку диаметра.



**Ступень 2** имеет цилиндрическую форму, что можно определить по значку диаметра.

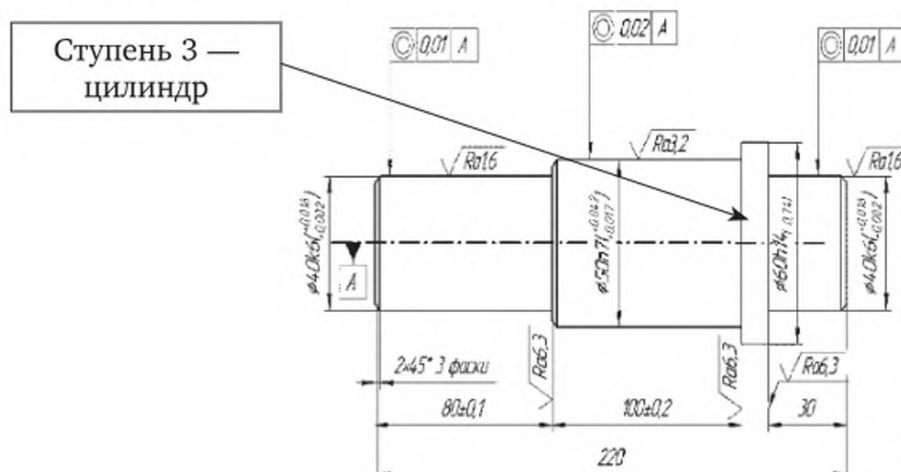


**Ступень 2** имеет буртик для предупреждения смещения установленной на ней детали.





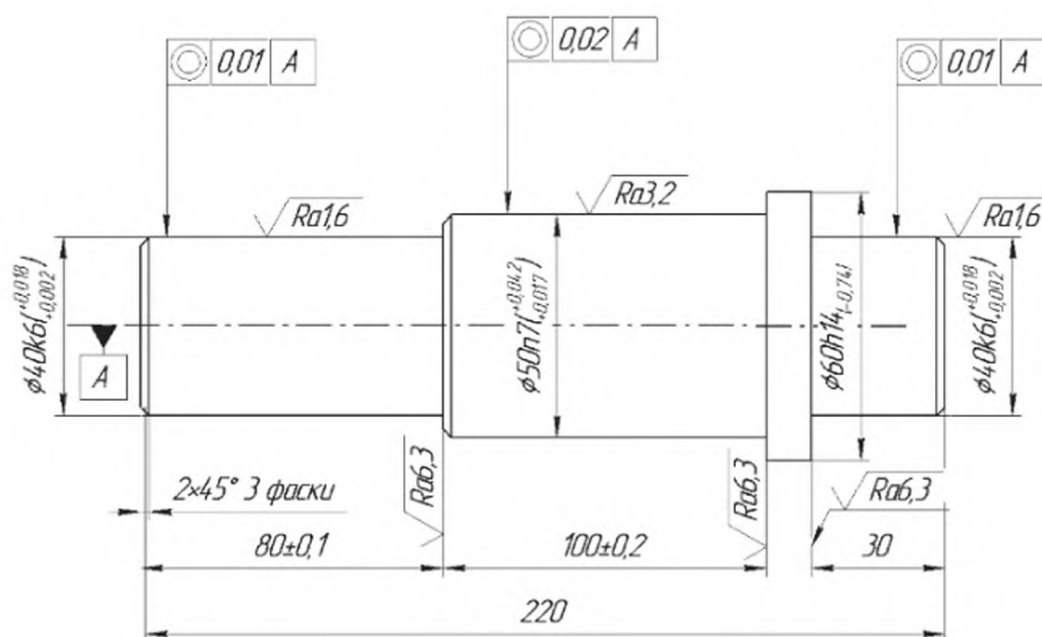
**Ступень 3** имеет форму цилиндра, что можно определить по значку диаметра.



### Определение размеров вала и их точности

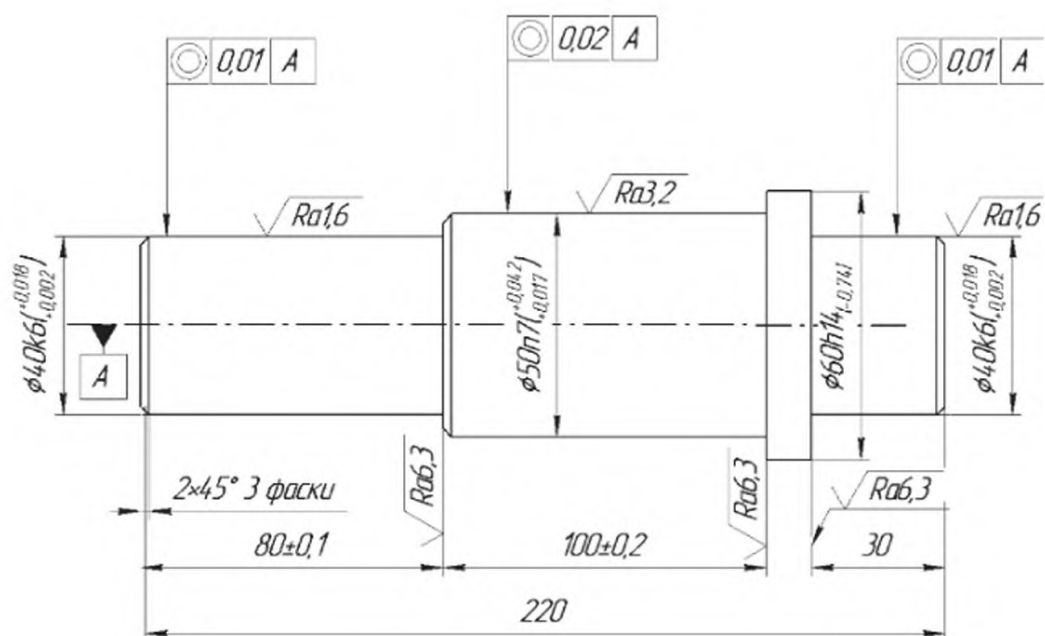
Прочитайте габаритные (наибольшие) размеры вала.

Габаритная (наибольшая) длина вала равна 220 мм  
Габаритный (наибольший) диаметр вала составляет 60 мм



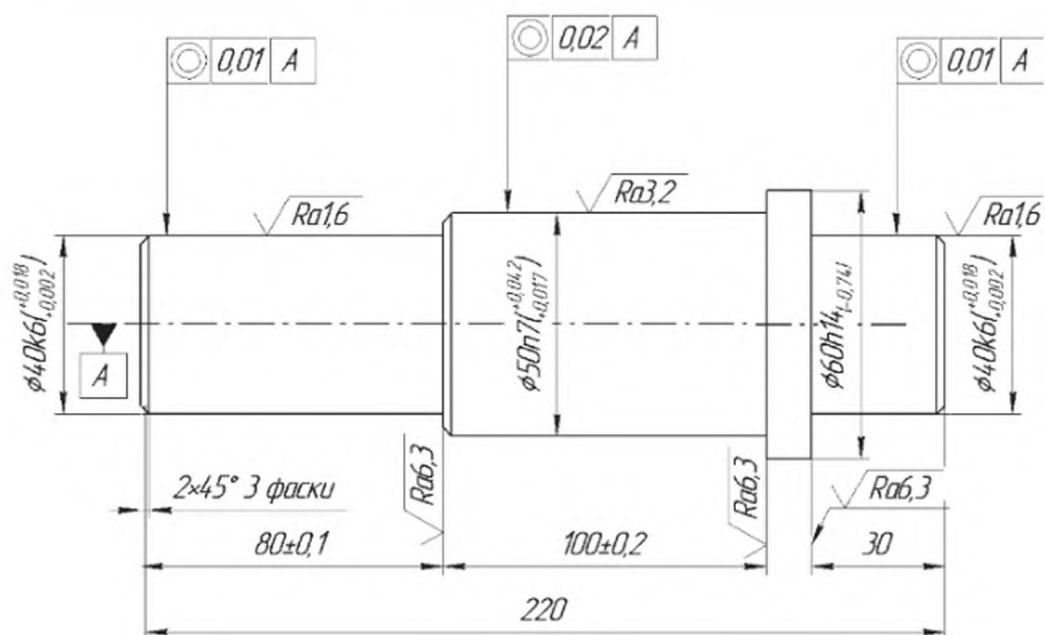
Прочитайте размеры ступени 1.

Длина ступени — 80 мм. Точность длины по 14 качеству.  
Допуск составляет 0,24 мм. Диаметр ступени равен 40 мм.  
Точность диаметра по 6 качеству. Допуск составляет 0,016 мм.



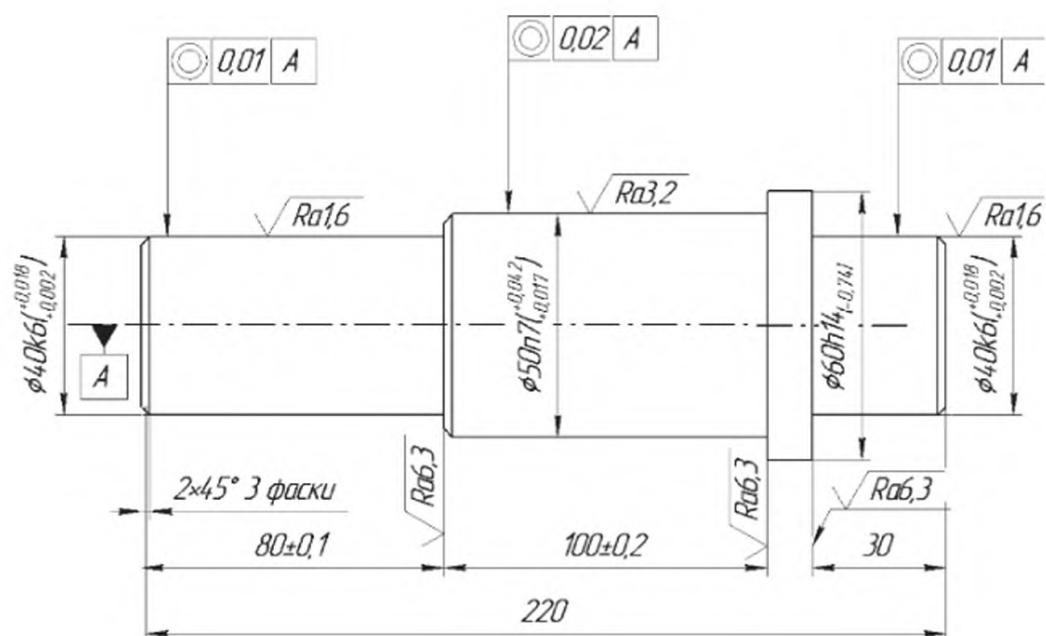
Прочитайте размеры ступени 2.

Длина ступени — 100 мм. Точность длины по 14 квалитету.  
Допуск составляет 0,4 мм. Диаметр ступени равен 50 мм.  
Точность диаметра по 7 квалитету.  
Допуск составляет 0,025 мм.



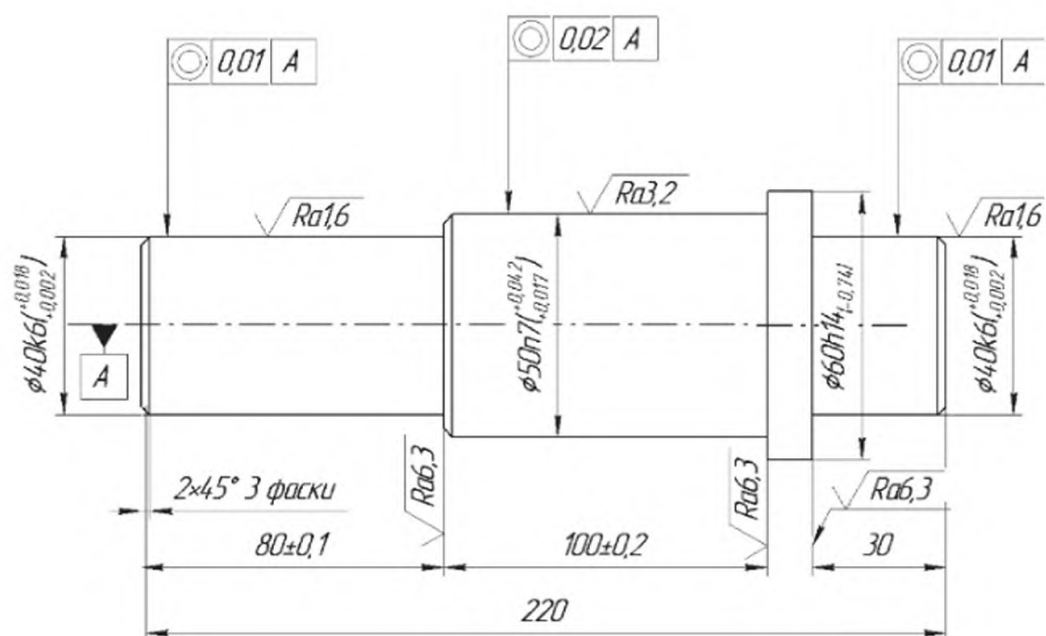
Прочитайте размеры буртика, который расположен на расстоянии 180 мм от торца ступени 1.

Длина буртика составляет 10 мм.  
Диаметр буртика составляет 60 мм.  
Допуск по 14 квалитету и составляет 0,74 мм.



Прочитайте размеры ступени 3.

Длина ступени — 30 мм. Точность длины по 14 качеству.  
Допуск составляет 0,2 мм. Диаметр ступени равен 40 мм.  
Точность диаметра по 6 качеству.  
Допуск составляет 0,016 мм.



### Определение отклонений формы и расположения поверхностей вала

Базовым элементом детали является ось.



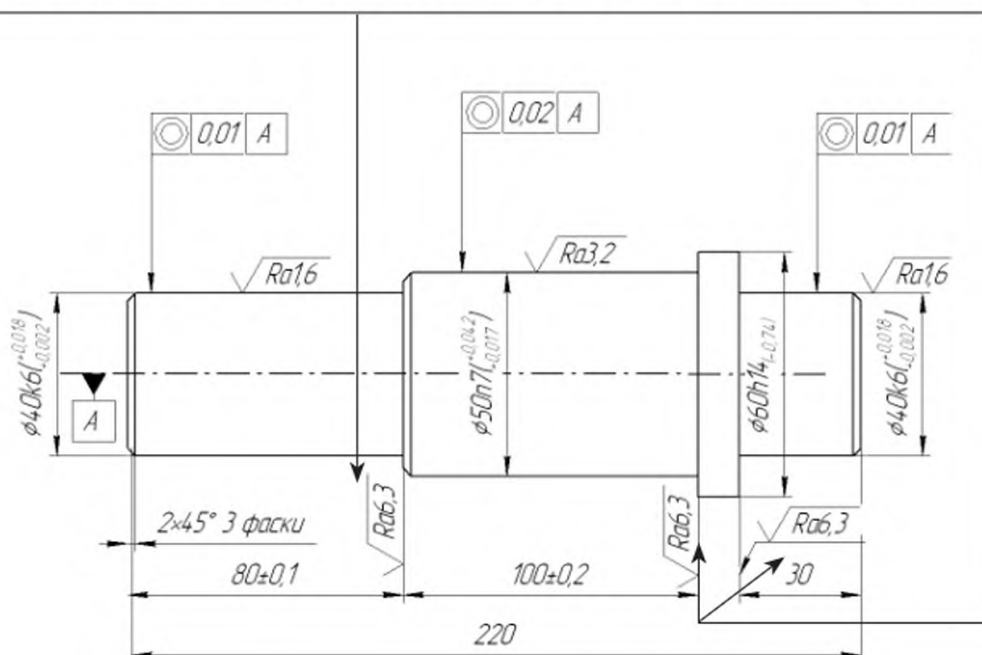
### Определение шероховатости поверхностей вала

Определите шероховатость цилиндрических поверхностей ступеней валов:



Определите шероховатости торцовых поверхностей ступеней валов:

Торец ступени 2 имеет шероховатость поверхности  $Ra\ 6,3\ \text{мкм}$   
Оба торца буртика имеют шероховатость поверхности  $Ra\ 6,3\ \text{мкм}$



Определите шероховатость остальных поверхностей вала. Она указана в правом верхнем углу чертежа.

Шероховатость всех остальных поверхностей вала указана в правом верхнем углу чертежа.

$\sqrt{Ra\ 12,5}$  (✓)

Остальные поверхности вала  
имеют шероховатость  $Ra\ 12,5\ \text{мкм}$

### Определение не указанных требований к изготовлению вала

Не указанные требования к изготовлению вала записаны над основной надписью чертежа.

Неуказанные предельные отклонения  
валов по  $h14$ , остальных по  $J_S\ 14\setminus 2$

## Шаг 2

# РЕЗАНИЕ МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

### 2.1. Основные сведения по теории резания металлов

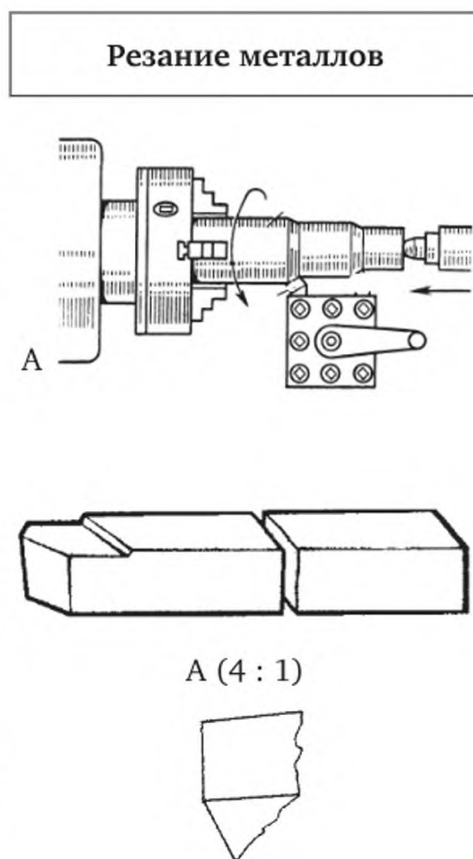
Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

- формулировать определение резания металлов;
- формулировать определение режущего клина;
- различать поверхности режущего клина;
- различать поверхности на заготовках;
- различать виды стружки;
- различать движения в токарных станках;
- формулировать определение главного движения и движения подачи.

**Резанием металлов** называется операция, в которой слой металла удаляется с заготовки с помощью клинообразного режущего инструмента, при этом заготовка и инструмент находятся в относительном движении.

В основе токарных резцов и всех других видов инструмента, предназначенного для резания металлов, лежит **режущий клин**.

**Режущим клином** называется тело, ограниченное в пространстве двумя поверхностями:





- передней поверхностью (ПП);
- задней поверхностью (ЗП).

**Передней поверхностью** (ПП) называется поверхность, по которой сходит стружка.

**Задней поверхностью** (ЗП) называется поверхность, обращенная в сторону обработанной поверхности.

При пересечении передней и задней поверхности образуется линия, которая называется **режущей кромкой** (РК).

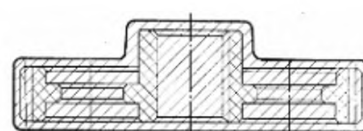
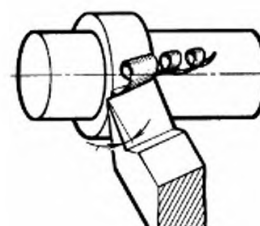
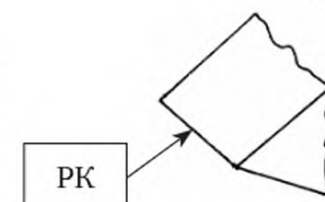
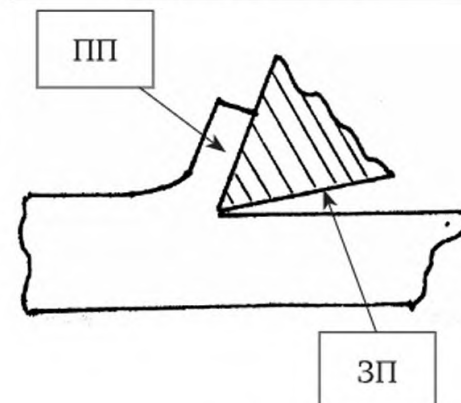
Режущая кромка клина совершает основную работу по удалению стружки с заготовки.

**Заготовкой** называется продукция заготовительных производств, предназначенная для обработки резанием.

При обработке заготовки резанием на ней образуются следующие виды **поверхностей**:

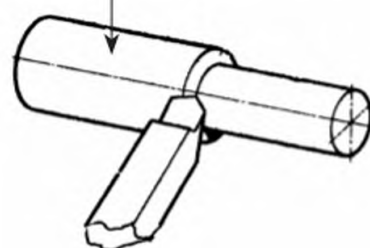
- **обрабатываемая поверхность**, с которой снимается стружка;

#### Поверхности режущего клина



#### Виды поверхностей на заготовках

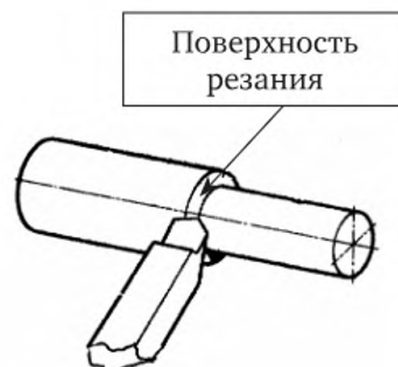
Обрабатываемая поверхность



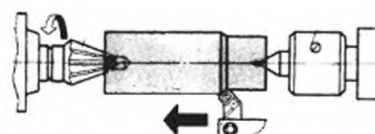
— *обработанная поверхность*, с которой снята стружка;



— *поверхность резания*, которая образована режущей кромкой инструмента и расположена между обработанной и обрабатываемой поверхностями.



Поверхности на заготовках образуются в результате сочетания различных движений.



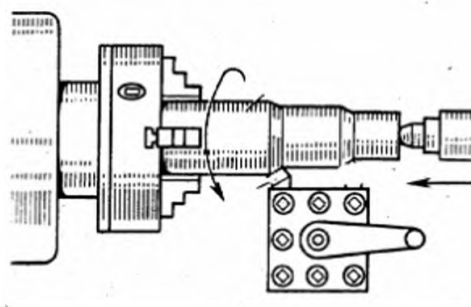
*Движения в токарных станках* подразделяются на два типа:

- основные;
- вспомогательные.

Два типа движений  
в станке

Основные движения

*Основными* называются те движения, при которых можно наблюдать сход стружки.



Сход стружки есть

Различают следующие виды основных движений в токарном станке:

- главное движение;
- движение подачи.

Основные движения

Главное движение

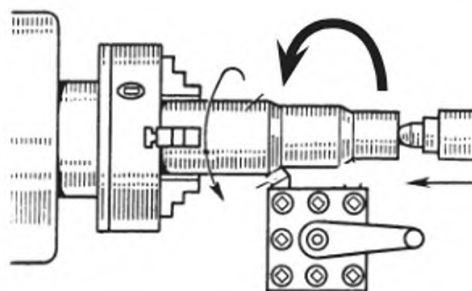
Движение подачи

Главным движением называется движение с наибольшей скоростью.

Главное движение — это движение с наибольшей скоростью

При точении главное движение — вращение шпинделя

Главное движение при точении — это вращение шпинделя.

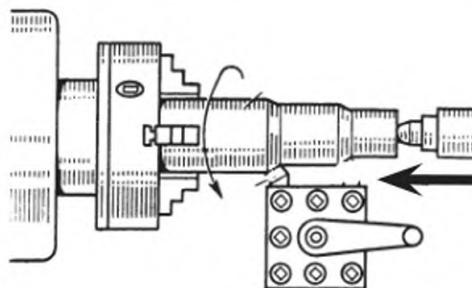


Движением подачи называется движение, которое обеспечивает врезание инструмента в новые слои металла заготовки.

Главное движение — это движение с наибольшей скоростью

При точении движение подачи — перемещение инструмента

При точении движением подачи является поступательное движение инструмента.



**Вспомогательными движениями** называются движения, при которых схода стружки не наблюдаются.

Вспомогательные движения необходимы для подготовки к процессу резания и обеспечения требуемой последовательности движений при обработке заготовки.

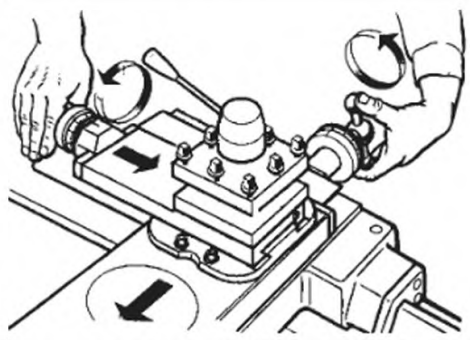
К вспомогательным движениям относятся подведение режущего инструмента и его отвод, закрепление детали, смена инструмента.

**Стружкой** называется материал, удаленный с поверхности заготовки в процессе обработки.

По внешнему строению различают следующие виды стружек:

**Стружка скалывания** — стружка, состоящая из пластически деформированных и взаимно сдвинутых элементов, соединенных между собой.

Вспомогательные движения



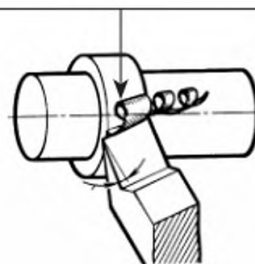
Схода стружки нет

Вспомогательные движения



Подвод, отвод инструмента  
Смена инструмента  
Закрепление детали

Стружка



Виды стружки

Стружка скалывания



Стружка скалывания образуется при обработке сталей пониженной пластичности при большой толщине срезаемого слоя металла.

Образуется при резании сталей пониженной пластичности

Сливная стружка

Сливная стружка — стружка, имеющая вид непрерывной ленты.



Сливная стружка образуется при резании пластичных металлов (малоуглеродистых сталей, латуней, алюминиевых сплавов) при малых толщинах срезаемого слоя металла.

Образуется при резании пластичных материалов (малоуглеродистых сталей, латуней, алюминия)

Стружка надлома

**Стружка надлома** — стружка, состоящая из отдельных кусочков.

Стружка надлома образуется при резании хрупких металлов, таких как чугуны, бронзы.



Образуется при резании хрупких металлов, таких как чугуны, бронзы

## 2.2. Режимы резания. Выбор и расчет

- 
- Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:
- различать элементы режимов резания;
  - формулировать определение скорости резания, подачи, глубины резания;
  - объяснять последовательность выбора и расчета режимов резания.
-

Основные движения характеризуются следующими **режимами резания**:

- скоростью резания;
- величиной подачи;
- глубиной резания.

**Скоростью резания** ( $V$ ) называют путь, пройденный точкой заготовки в направлении главного движения за единицу времени.

Скорость резания определяется через число оборотов шпинделя ( $n$ ) и диаметр заготовки ( $D$ ) по формуле.

Скорость резания измеряется в м/мин при всех видах обработки резанием.

Число оборотов шпинделя рассчитывается, исходя из выбранной скорости резания.

Число оборотов шпинделя станка измеряется в об/мин.

После расчета число оборотов корректируется в соответствии с диапазоном чисел оборотов станка.

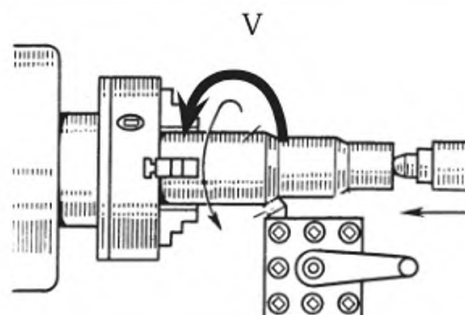
## Режимы резания

Скорость резания

Величина подачи

Глубина резания

Скорость резания — путь, пройденный точкой заготовки в направлении главного движения за единицу времени



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

$D$  — диаметр заготовки, мм  
 $n$  — число оборотов шпинделя, об/мин

$V$  (м/мин)

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

$n$  (об/мин)

После расчета число оборотов корректируется в соответствии с диапазоном частот вращения шпинделя



Скорость резания зависит от стойкости инструмента, свойств обрабатываемого материала, подачи и глубины резания, геометрии режущей части резца, размеров сечения державки резца, наличия смазывающе-охлаждающих жидкостей (СОЖ).

Стойкость  $\uparrow \Rightarrow V \uparrow$   
 Пластичность  $\uparrow \Rightarrow V \downarrow$   
 $S \uparrow \Rightarrow V \downarrow$   
 $t \uparrow \Rightarrow V \downarrow$   
 Размеры державки  $\uparrow \Rightarrow V \uparrow$   
 СОЖ есть  $\Rightarrow V \uparrow$

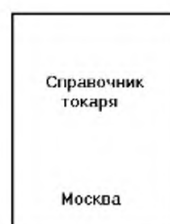
При черновом точении сталей резцами из быстрорежущих сталей подача СОЖ с интенсивностью 8—12 л/мин повышает скорость резания на 20—30 %.

СОЖ = 8—12 л/мин  
 $V$  возрастает на 20—30 %

При чистовом точении подача СОЖ с интенсивностью 4—6 л/мин обеспечивает повышение скорости резания на 8—10%.

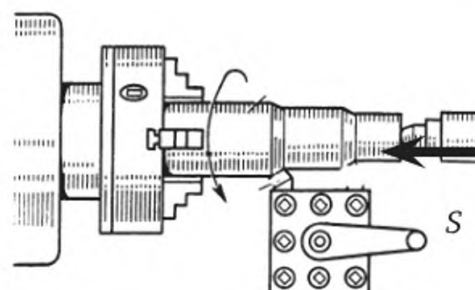
СОЖ = 4—6 л/мин  
 $V$  возрастает на 8—10 %

Скорость резания может назначаться по таблицам справочников, составленных на основе специальных исследований.



*Подача* — перемещение инструмента за один оборот заготовки или за одну минуту

**Подачей** ( $S$ ) называется перемещение инструмента за один оборот заготовки (оборотная подача) или за одну минуту (минутная подача).



Зависимость между оборотной и минутной подачами выражается формулой.

$$S_{\text{мин}} = S_{\text{об}} \cdot V$$

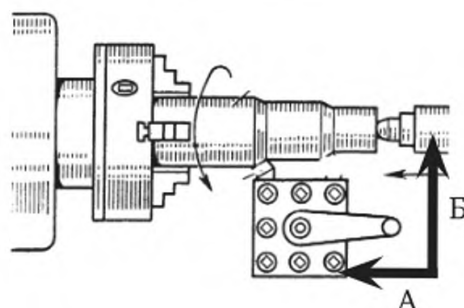
Оборотная подача измеряется в мм/об.

$$S_{об} = \text{мм/об.}$$

Минутная подача измеряется в мм/мин.

$$S_{мин} = \text{мм/мин}$$

Движение подачи является непрерывным и может быть: продольным, направленным вдоль оси обрабатываемой заготовки (А); поперечным – поперек этой оси (Б).



Величина подачи ограничивается силами, действующими в процессе резания, и влияет на точность и качество обработки.

Подача  $\uparrow \Rightarrow$  силы резания  $\uparrow$

Величина подачи зависит от прочности резца, жесткости детали и токарного станка, заданных точности обработки и чистоты поверхности, скорости резания, глубины резания, геометрии инструмента.

Прочность и жесткость  $\uparrow \Rightarrow S \uparrow$   
Точность  $\uparrow$  шероховатость  $\downarrow \Rightarrow S \downarrow$   
Глубина резания  $\uparrow \Rightarrow S \downarrow$   
Скорость резания  $\uparrow \Rightarrow S \downarrow$

Величина подачи может назначаться по таблицам справочников, составленных на основе специальных исследований.

Справочник  
токаря

Москва

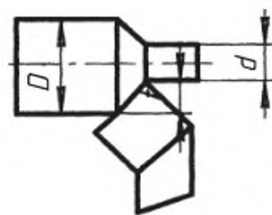
После выбора величины подачи ее корректируют по кинематическим данным станка, предпочтительно выбирать ближайшую меньшую величину подачи.

Коррекция подачи  
по кинематическим данным  
станка

**Глубиной резания ( $t$ )** называется расстояние между обработанной и обрабатываемой поверхностями заготовки, измеренное по перпендикуляру.

Глубина резания —  
расстояние между  
обрабатываемой  
и обработанной  
поверхностями, измеренное  
по перпендикуляру

При точении цилиндрической поверхности глубина резания определяется как полуразность диаметров обрабатываемой и обработанной поверхностей.



$$t = \frac{D - d}{2}$$

Глубина резания измеряется в мм.

$t$  (мм)

Глубина резания определяется в основном припуском на обработку, который удаляется за один или несколько проходов.

$$t = \text{припуск} / \text{число проходов}$$

Для уменьшения усилий резания общий припуск удаляется за несколько проходов: 60 % — при черновой, 20—30 % при получистовой и 10—20 % при чистовой обработке.

#### Припуск:

Черновой — 60 %  
Получистовой — 20—30 %  
Чистовой — 10—20 %

Средние значения глубины резания для черновой обработки равны 3—5 мм, для получистовой 2—3 мм, для чистовой обработки 0,5—1 мм.

#### Значения глубин резания

Черновая  $t = 3 \div 5$  мм  
Получистовая  $t = 2 \div 3$  мм  
Чистовая  $t = 0,5 \div 1$  мм

## 2.3. Инструментальные материалы. Маркировка и свойства

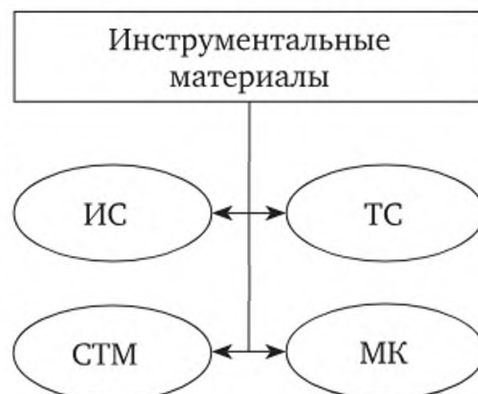
- Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:
- различать группы инструментальных материалов;
  - интерпретировать марки инструментальных материалов;
  - называть признаки классификации инструментальных материалов;
  - классифицировать инструментальные материалы по названным признакам;
  - называть основные свойства инструментальных материалов;
  - называть условия применения инструментальных материалов.

Режущие инструменты изготавливают полностью или частично из инструментальных сталей и твердых сплавов.



Различают следующие группы **инструментальных материалов**:

- инструментальные стали (ИС);
- твердые сплавы (ТС);
- минералокерамику (МК);
- сверхтвердые материалы (СТМ).

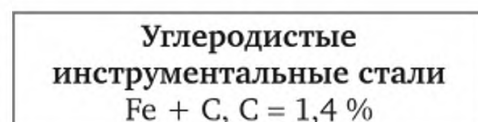


**Инструментальные стали (ИС)** подразделяются на три группы:

- углеродистые стали;
- легированные стали;
- быстрорежущие стали.

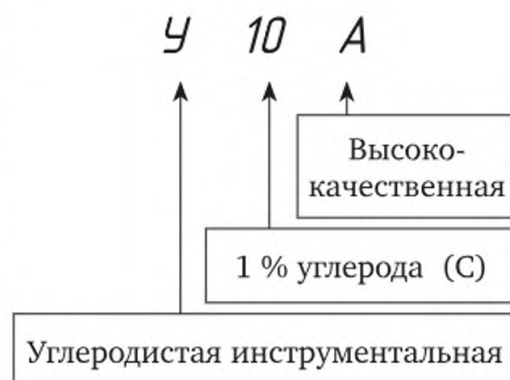


*Углеродистая сталь* – сплав железа (Fe) с углеродом (C), содержащий от 0,3 до 1,4 % углерода.



Маркировка углеродистых сталей состоит из заглавной буквы У и последующих цифр. Возможно включение в маркировку, после цифр, заглавной буквы А.

Буква У обозначает, что сталь относится к группе инструментальных углеродистых. Цифры в маркировке указывают содержание углерода (C) в стали в десятых долях процента. Буква А в конце маркировки указывает на высокое качество стали.



Твердость углеродистых инструментальных сталей (HRC) составляет 62—65 единиц, теплостойкость ( $T$ ) 220 °С.

Свойства углеродистых инструментальных сталей:  
HRC = 62 ÷ 65;  $T$  = 220 °С

Углеродистые инструментальные стали применяются при скорости резания не более 8—10 м/мин.

Применение  
при  $V \leq 8—10$  м/мин

Углеродистые инструментальные стали применяют для изготовления разных слесарных инструментов, пил, напильников и др.



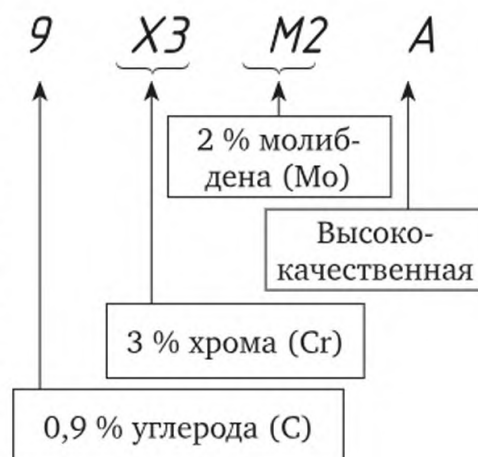
Легированные стали — сплавы железа (Fe) с углеродом (C) и легирующими элементами.

Легированные инструментальные стали  
Fe + C + легирующие элементы

Маркировка легированных сталей состоит из заглавных букв, и последующих цифр. Возможно включение в начало маркировки цифры, в конце маркировки — заглавной буквы А.

Буквы обозначают легирующие элементы, входящие в состав этой стали. Цифры слева от первой буквы показывают содержание углерода в десятых долях процента, а цифры, стоящие справа от букв, показывают содержание легирующих элементов в процентах от общей массы стали.

Буква А в конце маркировки указывает на высокое качество стали.



Легирующими элементами являются: азот, кобальт, титан, вольфрам, марганец, медь, молибден, бор, хром, никель, кремний, алюминий, фосфор, ванадий.



Хим. элемент	Хром, Cr	Марганец, Mn	Никель, Ni	Вольфрам, W	Ванадий, V	Кобальт, Co	Титан, Ti	Молибден, Mo
Обозначение в марке	Х	Г	Н	В	Ф	К	Т	М

Твердость легированных инструментальных сталей (HRC) составляет от 30 до 65 единиц, теплостойкость ( $T$ ) 350 — 400 °С.

Свойства легированных инструментальных сталей  
 $HRC = 30 \div 65$ ;  
 $T = 350 \div 400$  °С

Легированные инструментальные стали применяются при скорости резания не более 15—25 м/мин.

Применение  
при  $V \leq 15 \div 20$  м/мин

Из инструментальной стали марки Х изготавливают метчики, плашки, из стали 9ХС — сверла, метчики и плашки.

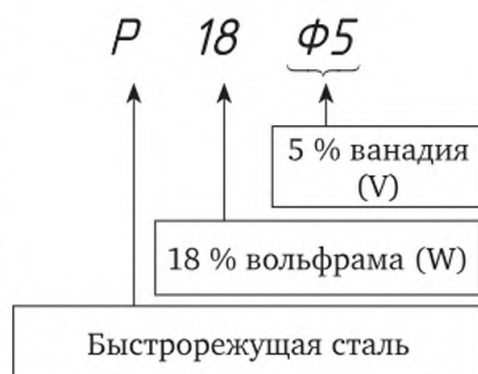


Быстрорежущие стали — сплавы железа (Fe) с углеродом (C), содержащие от 6 до 18 % вольфрама (W).

Быстрорежущие стали  
 $Fe + C + 6 - 18 \% W$

Маркировка быстрорежущих сталей состоит из заглавной буквы Р и последующих цифр. Возможно включение в маркировку, после цифр, заглавных букв с цифрами справа от них.

Буква Р показывает, что сталь является быстрорежущей, цифра, стоящая после буквы Р, показывает содержание в стали вольфрама в процентах, буквы после этой цифры обозначают легирующие элементы, входящие в состав этой стали, цифры справа от букв обозначают содержание их в процентах от общей массы стали.





Твердость сталей нормальной производительности (HRC) составляет от 54 до 64 единиц, теплостойкость ( $T$ ) 580—640 °С.

Свойства быстрорежущих сталей

$$\text{HRC} = 54 \div 64;$$

$$T = 580 \div 640 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Быстрорежущие стали применяются при скорости резания ( $V$ ) 45—60 м/мин.

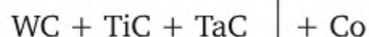
Применение  
при  $V = 45 \div 60$  м/мин

Быстрорежущие стали применяются для изготовления сверл, зенкоров, метчиков.



**Твердые сплавы** – твердый раствор карбидов вольфрама (WC), титана (TiC), тантала (TaC) с кобальтом (Co). Кобальт используется для связки частиц карбидов.

Твердые сплавы



Твердые сплавы подразделяются на следующие виды:

- вольфрамокобальтовые (ВК);
- вольфрамотитанокобальтовые (ТК);
- вольфрамотитанотанталокобальтовые (ТТК);
- безвольфрамовые (ОМ).

Твердые сплавы

Вольфрамокобальтовые  
Вольфрамотитанокобальтовые  
Вольфрамотитанотанталокобальтовые  
Безвольфрамовые

Вольфрамокобальтовые сплавы группы ВК — сплавы, состоящие из карбидов вольфрама (WC) и кобальта (Co).

ВК = карбид вольфрама (WC) + кобальт (Co)

Маркировка вольфрамокобальтовых сплавов состоит из заглавных букв ВК и последующих цифр. Возможно включение в маркировку, после цифр, заглавной буквы М.

Буква В в маркировке сплава обозначает карбид вольфрама, буква К обозначает кобальт (Co), цифры справа от букв показывают содержание кобальта в процентах (осталь-

В К 6 М



100 % – 6 % = 94 % карбида вольфрама (WC)

ное — карбид вольфрама WC). Буква М в конце маркировки означает, что сплав мелкозернистый.

Твердость вольфрамокобальтовых сплавов (HRC) составляет 83—90 единиц. Теплостойкость ( $T$ ) 800—950 °C.

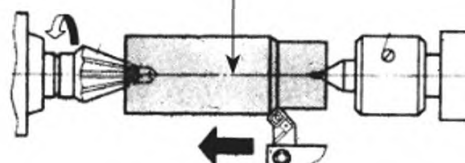
Свойства  
вольфрамокобальтовых  
сплавов  
 $HRC = 83 \div 90$ ;  
 $T = 800 \div 950$  °C

Вольфрамокобальтовые твердые сплавы применяются при скорости резания ( $V$ ) до 150 м/мин.

Применение  
при  $V \leq 150$  м/мин

Вольфрамокобальтовые твердые сплавы применяются для обработки нержавеющей и жаропрочных сталей, чугуна, цветных металлов и сплавов.

Обработка жаропрочных  
и нержавеющей сталей,  
чугуна, цветных металлов  
и сплавов



Вольфрамтитанокобальтовые сплавы группы ТК — сплавы, состоящие из карбидов вольфрама (WC), титана (TiC) и чистого кобальта (Co).

ТК = карбид вольфрама  
(WC) + карбид титана  
(TiC) + кобальт (Co)

Маркировка вольфрамтитанокобальтовых сплавов состоит из главных букв Т, К и последующих цифр.

Буква Т в маркировке сплава обозначает карбид титана (TiC), цифра справа от нее показывает содержание его в процентах, буква К — кобальт (Co), цифра справа от нее показывает содержание кобальта в процентах. Карбид вольфрама (WC) составляет остальной объем сплава.

$T \ 5 \ K \ 1 \ 0$

10 % кобальта (Co)

5 % карбида титана (TiC)

$100\% - 5\% - 10\% = 85\%$   
карбида вольфрама (WC)

Твердость вольфрамотитано-кобальтовых сплавов (HRC) составляет 87—92 единиц. Теплостойкость ( $T$ ) 800—900 °C.

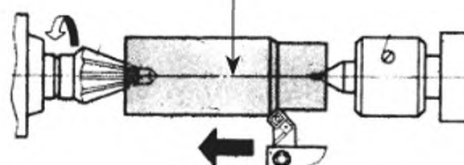
Свойства вольфрамотитано-кобальтовых сплавов  
 $HRC = 87 \div 92$ ;  
 $T = 800 \div 900$  °C

Вольфрамотитанокобальтовые твердые сплавы применяются при скорости резания ( $V$ ) до 150 м/мин.

Применение  
 при  $V \leq 150$  м/мин

Вольфрамотитанокобальтовые твердые сплавы применяются для обработки чугуна, цветных металлов и их сплавов и неметаллических материалов.

Обработка сталей, цветных металлов и сплавов



Вольфрамотитанотанталокобальтовые сплавы группы ТТК — сплавы, состоящие из карбидов вольфрама (WC), титана (TiC), тантала (TaC) и чистого кобальта (Co).

ТТК = карбид вольфрама (WC) + карбид титана (TiC) + карбид тантала (TaC) + кобальт (Co)

Маркировка вольфрамотитанотанталокобальтовых сплавов состоит из заглавных букв ТТ, заглавной буквы К и последующих цифр.

Буквы ТТ в маркировке сплава обозначают карбиды титана (TiC) и тантала (TaC), цифра за ними показывает общее содержание их в процентах, буква К — кобальт (Co), цифра за ней — содержание кобальта в процентах, остальное в данном сплаве — карбид вольфрама (WC).

ТТ10 К4

4 % кобальта (Co)

10 % карбидов титана и тантала (TiC+TaC)

$100 \% - 4 \% - 10 \% = 96 \%$   
 карбида вольфрама (WC)

Твердость вольфрамотитанотанталокобальтовых сплавов (HRC) составляет 82—90 единиц. Теплостойкость ( $T$ ) 800—900 °C.

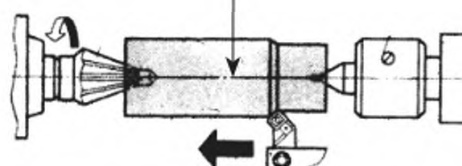
Свойства вольфрамотитанотанталокобальтовых сплавов  
 $HRC = 82 \div 90$ ;  
 $T = 800 \div 900$  °C

Вольфрамтитанотанталокобальтовые твердые сплавы применяются при скорости резания ( $V$ ) до 150 м/мин.

Применение  
при  $V \leq 150$  м/мин

Вольфрамтитанотанталокобальтовые твердые сплавы применяются для обработки чугуна, цветных металлов и их сплавов и неметаллических материалов в особо тяжелых условиях обработки.

Обработка сталей, цветных металлов и сплавов в особо тяжелых условиях обработки



Безвольфрамовые твердые сплавы — сплавы на основе карбидов титана (TiC). В качестве связки частиц карбидов используется никель (Ni) или молибден (Mo).

**Безвольфрамовые твердые сплавы** = TiC + Mo или Ni  
(Mo и Ni — для связки частиц карбидов)

Наиболее часто применяются такие марки безвольфрамовых твердых сплавов, как ТМ – 10, ТН – 20, КНТ – 16.

Буква Т в маркировке сплава обозначает карбид титана (TiC), буква М — молибден (Mo), цифра справа от нее показывает содержание молибдена в процентах. Буква Н — никель (Ni). Цифра после нее — содержание никеля в %. Карбид титана составляет остальную часть данного сплава.

ТМ – 10

10 % молибдена  
(Mo)

100 % – 10 % = 90 % карбида  
титана (TiC)

Твердость безвольфрамовых сплавов (HRC) составляет 80—85 единиц. Теплостойкость ( $T$ ) 800—860 °С.

Свойства безвольфрамовых  
твердых сплавов  
 $HRC = 80 \div 85$ ;  
 $T = 800 \div 860$  °С

Безвольфрамовые твердые сплавы применяются при скорости резания ( $V$ ) до 150 м/мин.

Применение  
при  $V \leq 150$  м/мин

Безвольфрамовые твердые сплавы применяются для обработки чугуна, цветных металлов и их сплавов, углеродистых и низколегированных сталей.

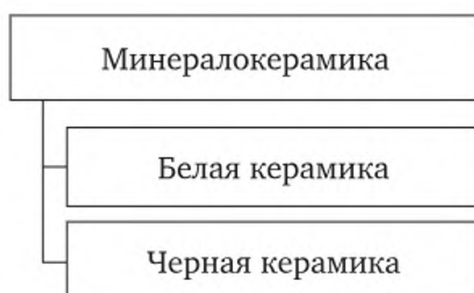


**Минералокерамика** — инструментальный материал на основе оксида алюминия.



Различают две группы минералокерамики:

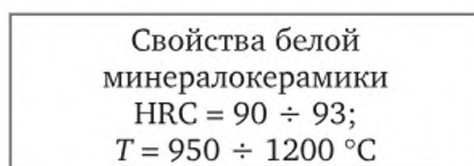
- белую керамику;
- черную керамику (керметы).



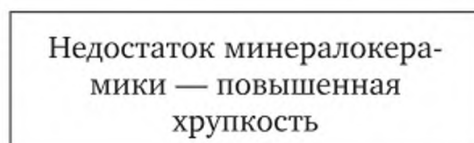
В промышленности применяют белую минералокерамику — кристаллы электрокорунда и связующего материала — стекла (ЦМ-332).



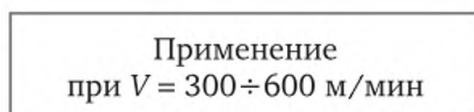
Твердость минералокерамики марки ЦМ-332 (HRC) составляет 90—93 единиц. Теплостойкость (Т) 950—1200 °С.



Недостатком белой минералокерамики марки ЦМ-332 является повышенная хрупкость.



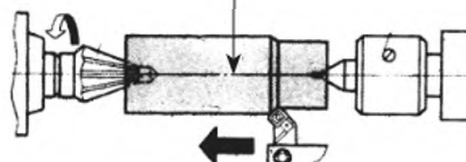
Белая минералокерамика применяется при скорости резания (V) от 300 до 600 м/мин.





Белую минералокерамику применяют для обработки стали, чугуна, цветных металлов и сплавов.

Обработка стали,  
чугуна, цветных металлов  
и сплавов



Черная минералокерамика представляет собой оксидно-карбидное соединение электрокорунда и карбидов тугоплавких металлов (вольфрама, WC) или молибдена, MoC).

**Черная** минералокерамика  
 $\text{Al}_2\text{O}_3 + 30 \div 40 \% \text{WC}$   
или MoC

В промышленности применяют черную минералокерамику (керметы) марок ВОК-60, ВОК-63.

Черная минералокерамика  
марок **ВОК-60, ВОК-63**

Твердость черной минералокерамики марок ВОК-60 и ВОК-63 (HRC) составляет 89—94 единиц. Теплоустойчивость ( $T$ ) — 1100 °C.

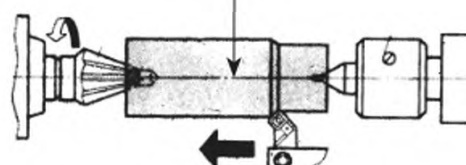
Свойства черной  
минералокерамики  
HRC = 89 ÷ 94;  
 $T = 1100\text{ °C}$

Черная минералокерамика применяется при скорости резания ( $V$ ) 300—500 м/мин.

Применение  
при  $V = 300 \div 500$  м/мин

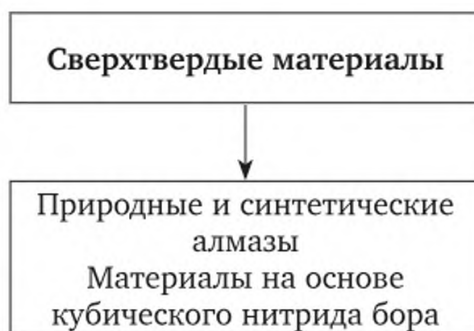
Черную керамику применяют для получистовой и чистовой обработки деталей из ковких чугунов, труднообрабатываемых сталей и сплавов.

Чистовая, получистовая  
обработка деталей из чугуна,  
закаленных сталей и сплавов

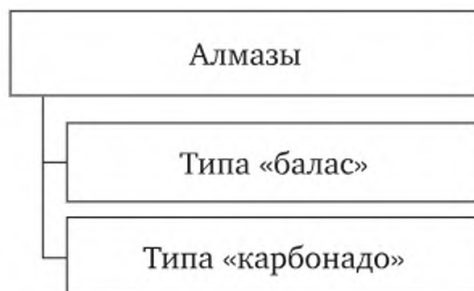




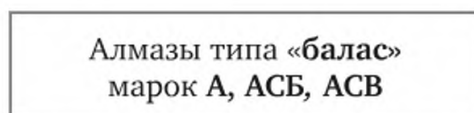
**Сверхтвердые материалы.**  
 Различают следующие виды сверх-  
 твердых материалов:  
 — природные и синтетические  
 алмазы;  
 — материалы на основе кубиче-  
 ского нитрида бора.



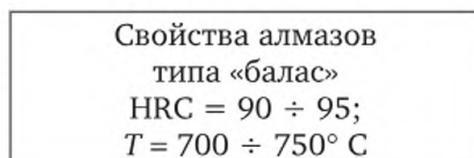
Различают два типа *природных  
и синтетических алмазов*:  
 — алмазы типа «балас»;  
 — алмазы типа «карбонадо».



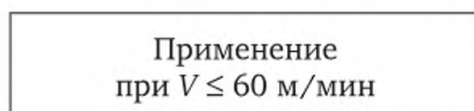
В промышленности применяют  
 алмазы типа «балас» марок А, АСБ,  
 АСВ.



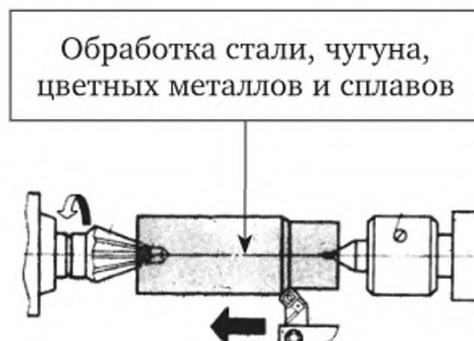
Твердость алмазов типа «балас»  
 (HRC) составляет 90—95 единиц. Те-  
 плостойкость ( $T$ ) 700—750 °С.



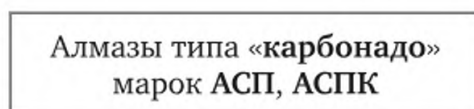
Алмазы типа «балас» применяются  
 при скорости резания ( $V$ ) до 60 м/мин.



Алмазы типа «балас» применяют  
 для обработки стали, чугуна, цвет-  
 ных сплавов.



В промышленности применя-  
 ют алмазы типа «карбонадо» марок  
 АСП, АСПК.



Твердость алмазов типа «карбонадо» (HRC) составляет 90—95 единиц. Теплостойкость ( $T$ ) 700—750 °С.

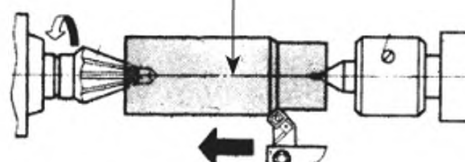
Свойства алмазов  
типа «карбонадо»  
 $HRC = 90 \div 95$ ;  
 $T = 700 \div 750 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Алмазы типа «карбонадо» применяются при скорости резания ( $V$ ) до 60 м/мин.

Применение  
при  $V \leq 60 \text{ м/мин}$

Алмазы типа «карбонадо» применяют для обработки стали, чугуна, цветных металлов и сплавов.

Обработка стали, чугуна,  
цветных металлов и сплавов



В промышленности применяют сверхтвердые материалы на основе кубического нитрида бора (КНБ) эльбор, белбор, гексанит, ПТНБ.

Материалы на основе КНБ:  
**эльбор, белбор,  
гексанит, ПТНБ**

Кубический нитрид бора — химическое соединение 44 % бора (В) и 56 % азота (N).

$\text{КНБ} = 44 \% \text{ В} + 56 \% \text{ N}$

Материалы на основе кубического нитрида бора имеют следующие торговые марки:

- эльбор — композит 01;
- белбор — композит 02;
- ПТНБ (поликристаллы твердого нитрида бора) — композит 09;
- гексанит — композит 10.

Торговые марки  
материалов КНБ

Эльбор — композит 01

Белбор — композит 02

ПТНБ — композит 09

Гексанит — композит 10

Плотность материалов на основе КНБ ( $\rho$ ) составляет  $3,5 \cdot 10^{-4} \text{ Н/м}^3$ . Прочность на сжатие ( $\sigma$ ) равна 4—5 ГПа. Теплостойкость ( $T$ ) — 1800 °С.

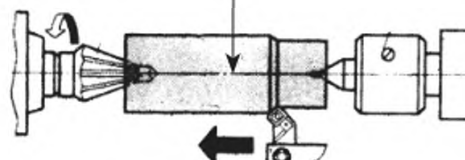
Свойства материалов  
на основе КНБ  
 $\rho = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ Н/м}^3$ ;  
 $\sigma = 4 \div 5 \text{ ГПа}$ ;  $T = 1800 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Материалы на основе КНБ применяются при скорости резания ( $V$ ) до 600 м/мин.

Материалы на основе КНБ применяют для обработки стали, чугуна, цветных сплавов.

Применение  
при  $V \leq 600$  м/мин

Чистовая обработка  
закаленных сталей,  
высокопрочных сплавов

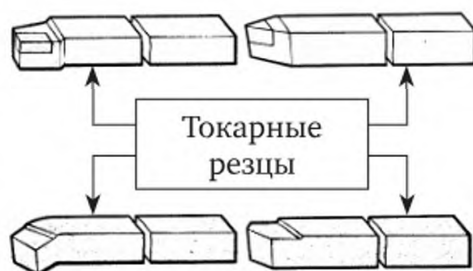


## 2.4. Токарные резцы: классификация, конструкция, геометрические параметры

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

- различать типы токарных резцов;
- называть признаки классификации токарных резцов;
- классифицировать токарные резцы по названным признакам;
- различать конструктивные и геометрические параметры токарных резцов.

Токарная обработка отличается разнообразием обрабатываемых поверхностей и значительной номенклатурой резцов.



В основе классификации токарных резцов лежат следующие признаки:

- направление подачи;
- вид обработки;
- конструкция головки;
- сечение стержня;
- способ изготовления;
- способ обработки;
- вид материала режущей части;

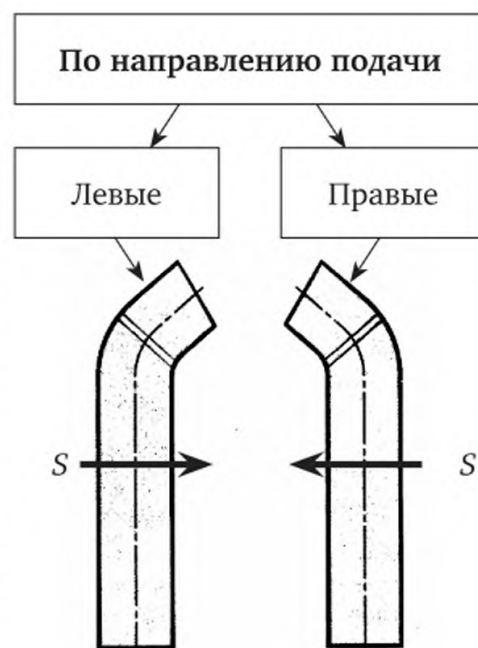
Признаки классификации  
резцов

Направление подачи  
Вид обработки  
Конструкция головки  
Сечение стержня  
Способ изготовления  
Способ обработки  
Вид материала режущей части

По направлению подачи различают правые и левые резцы.

У **правых резцов** главная режущая кромка направлена влево. Такие резцы работают при подаче справа налево.

У **левых резцов** главная режущая кромка направлена вправо. Такие резцы работают при подаче слева направо.



На практике различают правые и левые резцы по правилу правой и левой руки:

Правило правой и левой руки

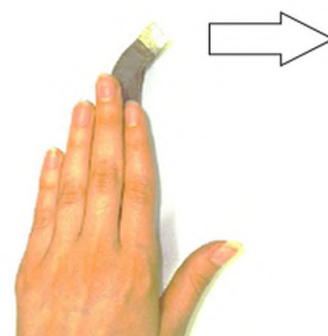
Правило правой руки

Если положить *правую* руку на резец сверху так, чтобы указательный палец был сонаправлен с вершиной резца, то большой палец покажет левое направление подачи, т. е. резец будет *правый*.



Правило левой руки

Если положить *левую* руку на резец сверху так, чтобы указательный палец был сонаправлен с вершиной резца, то отогнутый большой палец покажет правое направление подачи, т. е. резец будет *левый*.



По **виду обработки** различают следующие виды токарных резцов:

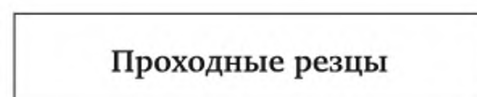
- проходные;
- подрезные;
- отрезные и канавочные;
- расточные;
- резьбовые;
- фасонные.



**Проходные резцы** применяются для обработки наружных цилиндрических, торцовых и конических поверхностей.



Различают следующие виды проходных резцов:



— *проходные прямые резцы* применяются для обработки наружных цилиндрических и конических поверхностей и фасок;



— *проходные отогнутые резцы* применяются для обработки наружных цилиндрических, торцовых и конических поверхностей и фасок;





— *проходные упорные резцы* применяются для обработки наружных цилиндрических, торцовых поверхностей и уступов.

Проходные упорные



**Подрезные резцы** применяются для обработки торцовых поверхностей и уступов.

Подрезные резцы



**Отрезные резцы** применяются для отрезания деталей и подрезания торцев.

Отрезные резцы



Отрезные резцы могут быть с оттянутой вправо или влево головкой.

Головка отрезных резцов может быть оттянутой

Вправо

Влево

**Канавочные резцы** применяются для обработки канавок.



Различают наружные и внутренние канавочные резцы:

Канавочные резцы

— *наружные канавочные резцы* применяются для обработки наружных канавок;

Наружные



— *внутренние канавочные резцы* применяются для обработки канавок в отверстиях.

Внутренние





## Расточные резцы

**Расточные резцы** применяются для обработки отверстий.



Различают расточные резцы для обработки сквозных и глухих отверстий:

## Расточные резцы

— *расточные резцы для сквозных отверстий* применяются для обработки отверстий напроход;

Для сквозных отверстий



— *расточные резцы для глухих отверстий* применяются для обработки глухих и ступенчатых отверстий.

Для глухих отверстий



## Резьбовые резцы

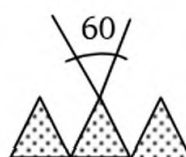
**Резьбовые резцы** применяют для обработки резьбовых поверхностей.



Различают резьбовые резцы для нарезания следующих видов резьбы:

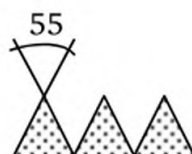
## Виды резьбы, нарезаемой резьбовыми резцами

— *метрической резьбы (М)* с углом при вершине  $60^\circ$ ;



М

— дюймовой резьбы (G) с углом при вершине  $55^\circ$ ;



G

— трубной резьбы (Труб) с радиусной вершиной;



Труб

— трапецеидальной резьбы (Tr) с профилем в виде равнобокой трапеции;



Tr

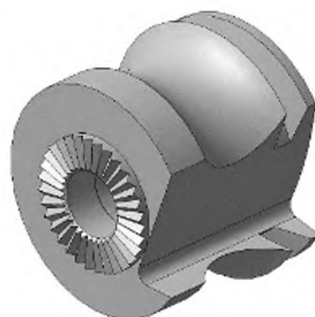
— упорной резьбы (S) с профилем в виде прямоугольной трапеции.



S

#### Фасонные резцы

**Фасонные резцы** применяются для обработки фасонных поверхностей.



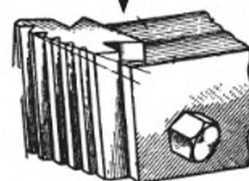
#### Типы фасонных резцов

Круглые

Призматические

По **конструкции** различают следующие типы фасонных резцов:

- круглые;
- призматические.



По конструкции головки различают следующие виды резцов:

- резцы с *прямой головкой*;
- резцы с *отогнутой вправо или влево головкой*;
- резцы с *оттянутой вправо или влево головкой*.



По сечению стержня различают следующие виды резцов:

- резцы с *прямоугольным* сечением стержня;
- резцы с *квадратным* сечением стержня;
- резцы с *круглым* сечением стержня.



По способу изготовления различают цельные, напайные и составные резцы:

- *цельные резцы* изготавливают из материалов, не имеющих особой стоимости (легированные и быстрорежущие стали).



— у **напайных резцов** режущая часть, изготовленная из дорогостоящего материала, припаивается к державке из конструкционной углеродистой стали;

Напайные



— у **составных резцов** режущая часть, изготовленная из дорогостоящего материала, механически крепится к державке из конструкционной стали.

Составные



По **способу обработки** различают следующие виды резцов:

- **черновые** резцы;
- **получистовые** резцы;
- **чистовые** резцы.

По способу обработки

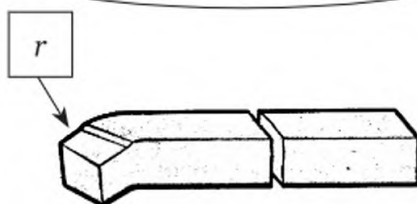
Черновые

Получистовые

Чистовые

**Черновые резцы** применяются для черновой обработки заготовок.

Черновые

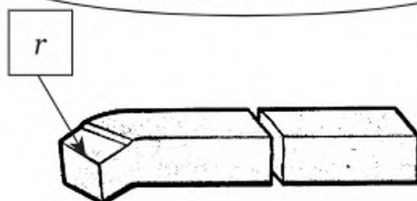


Радиус при вершине у черновых резцов составляет от 0,2 до 0,5 мм.

$$0,2 < r < 0,5$$

**Получистовые резцы** применяются для черновой обработки заготовок.

Получистовые

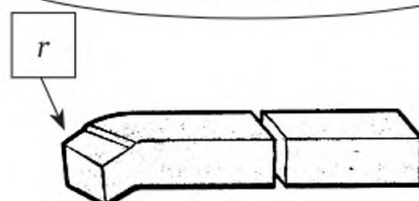


Радиус при вершине у полукриволинейных резцов составляет от 0,5 до 1 мм.

$$0,5 < r < 1$$

**Чистовые резцы** применяются для чистовой обработки заготовок.

Чистовые



Радиус при вершине у чистовых резцов составляет от 1 до 1,5 мм.

$$1 < r < 1,5$$

По виду материала режущей части различают следующие виды резцов:

Материал режущей части

— резцы с режущей частью из **быстрорежущей стали** (цельные и сборные);

P6M5, P3M5, P9, P18

— резцы с режущей частью из **твердого сплава** (напайные и с механическим креплением пластин);

T5K10, BK8,  
T15K6, TT30K

— резцы с режущей частью из **минералокерамики** (напайные и с механическим креплением пластин);

ЦМ-332, ВЗ, ВСК-60

— резцы с режущей частью из **сверхтвердых материалов** (СТМ) (напайные и с механическим креплением пластин).

АСБ, АСПК, Алмаз

Токарный резец состоит из двух основных частей:

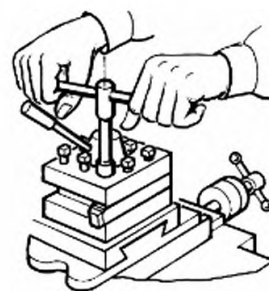
- стержня (державки);
- головки.

Основные части  
токарного резца

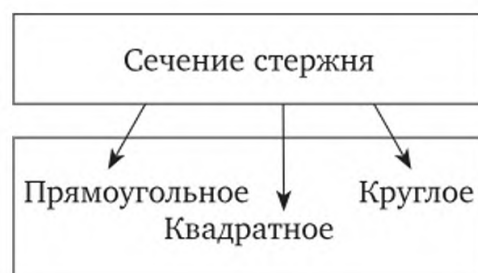




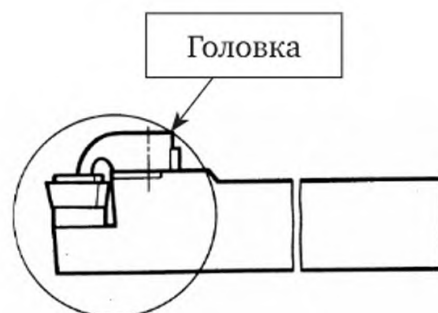
**Стержень** служит для закрепления резца в резцедержателе.



Резцы одинакового назначения могут выполняться со стержнем разного сечения: квадратного, прямоугольного, круглого.



**Головка** резца по отношению к его телу может быть прямой, отогнутой, изогнутой и оттянутой.



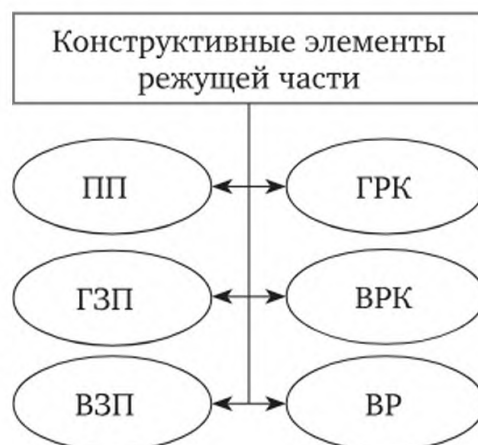
Головка представляет собой режущую часть резца.

На режущей части определяют конструктивные и геометрические параметры резцов.



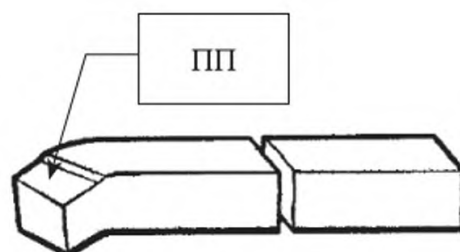
Режущая часть резца включает в себя такие **конструктивные элементы**, как:

- передняя поверхность (ПП);
- главная задняя поверхность (ГЗП);
- вспомогательная задняя поверхность (ВЗП);
- главная режущая кромка (ГРК);
- вспомогательная режущая кромка (ВРК);
- вершина резца (ВР).

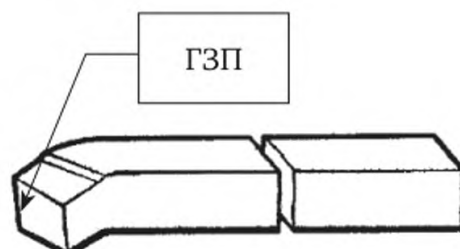




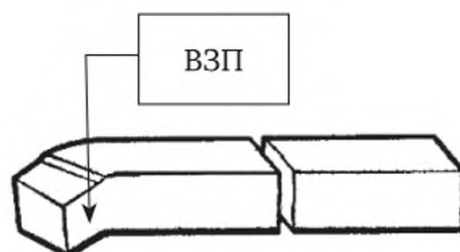
*Передней поверхностью (ПП) резца называют поверхность, по которой сходит стружка.*



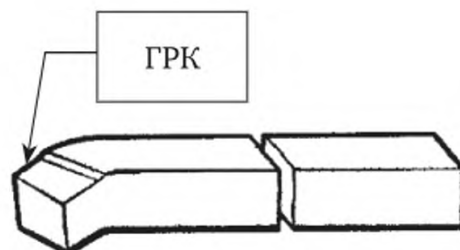
*Главной задней поверхностью (ГЗП) называют поверхность, обращенную к поверхности резания.*



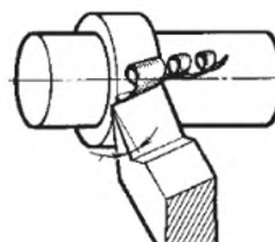
*Вспомогательной задней поверхностью (ВЗП) называют поверхность, обращенную к обработанной поверхности.*



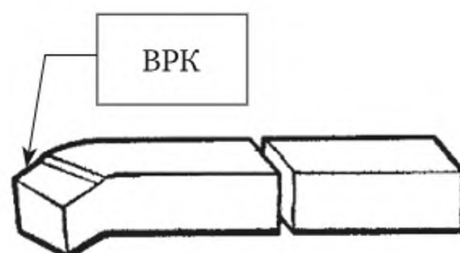
*Главная режущая кромка (ГРК) образуется пересечением передней и главной задней поверхностей резца.*



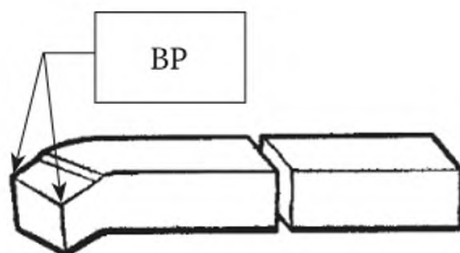
*Главная режущая кромка выполняет основную работу резания.*



*Вспомогательная режущая кромка (ВРК) образуется пересечением передней и вспомогательной задней поверхностей.*



*Вершиной резца (ВР) называется точка пересечения главной и вспомогательной режущих кромок.*



Резцы, применяемые для обработки валов, могут иметь одну или две вершины.

Резцы могут иметь одну или две вершины

*Геометрические параметры режущей части.*

Геометрические параметры

Для определения геометрических параметров режущей части установлены координатные плоскости резца:

- основная плоскость (ОП);
- плоскость резания (ПР).

Определяются

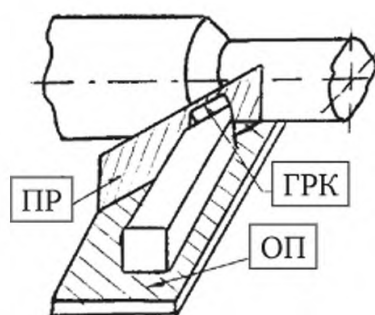
Координатные плоскости резца

ОП

ПР

*Основной плоскостью (ОП) называется плоскость, параллельная направлению продольной и поперечной подачи и совпадающая с нижней опорной поверхностью резца.*

*Плоскостью резания (ПР) называется плоскость, касательная к поверхности резания и проходящая через главную режущую кромку резца перпендикулярно основной плоскости.*



Геометрические параметры рассматриваются в следующих секущих плоскостях:

- главной секущей плоскости;
- вспомогательной секущей плоскости.

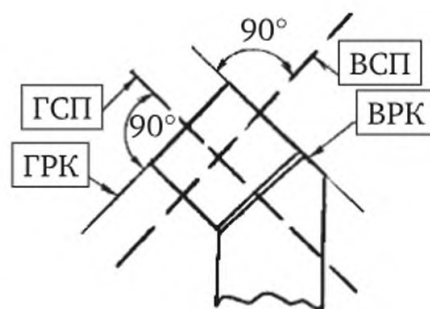
Секущие плоскости

ГСП

ВСП

Главной секущей плоскостью (ГСП) называется плоскость, перпендикулярная проекции главной режущей кромки на основную плоскость.

Вспомогательной секущей плоскостью (ВСП) называется плоскость, перпендикулярная проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость.



У токарных резцов выделяют четыре группы геометрических параметров:

- главные углы;
- вспомогательные углы;
- углы в плане;
- угол наклона главной режущей кромки.

#### Геометрические параметры

Главные углы

Вспомогательные углы

Углы в плане

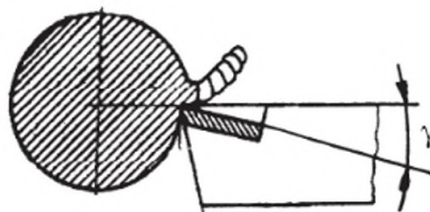
Угол наклона ГРК

Различают следующие главные углы резца:

#### Главные углы резца

— главный передний угол ( $\gamma$ ) — это угол между передней поверхностью резца и плоскостью, перпендикулярной плоскости резания и проходящей через главную режущую кромку резца.

#### Главный передний угол



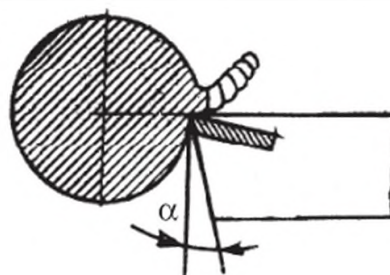
Передний угол резца выбирается в зависимости от материала обрабатываемой детали и изменяется в пределах от 0 до 10°;

$$\gamma = 0 \div 10^\circ$$

— главный задний угол ( $\alpha$ ) — это угол между главной задней поверхностью резца и плоскостью резания.

Главный задний угол резца выбирается в зависимости от материала обрабатываемой детали и изменяется в пределах от 0 до 18°;

#### Главный задний угол

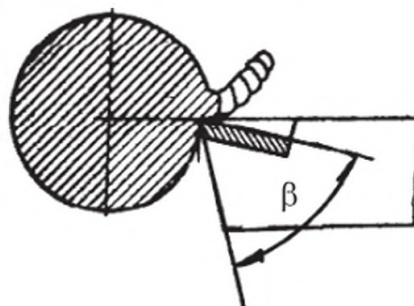


$$\alpha = 0 \div 18^\circ$$

— угол заострения ( $\beta$ ) — это угол между передней и главной задней поверхностями резца.

Сумма углов  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  составляет 90°;

#### Угол заострения

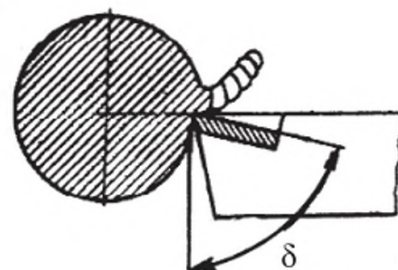


$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

— угол резания ( $\delta$ ) — это угол между передней поверхностью резца и плоскостью резания.

Сумма углов  $\delta$  и  $\gamma$  составляет 90°.

#### Угол резания

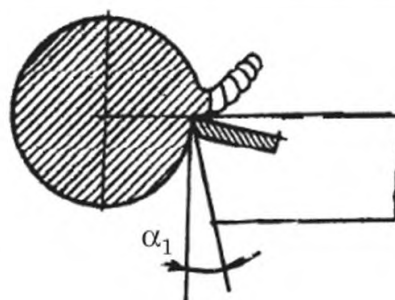


$$\delta + \gamma = 90^\circ$$

У резцов различают следующие *вспомогательные углы*:

— вспомогательный задний угол ( $\alpha_1$ ) — это угол между вспомогательной задней поверхностью и плоскостью, проходящей через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно основной плоскости.

Вспомогательные углы



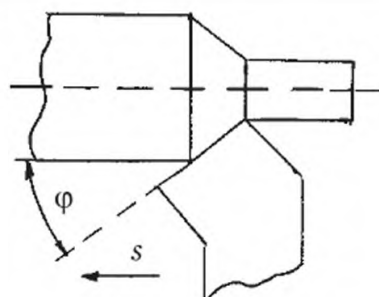
*Углы в плане* — углы, измеряемые в плоскости, параллельной основной плоскости резца и проходящей через главную режущую кромку.

Углы в плане

Различают следующие виды углов в плане:

— главный угол в плане ( $\phi$ ) — это угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи.

Главный угол в плане

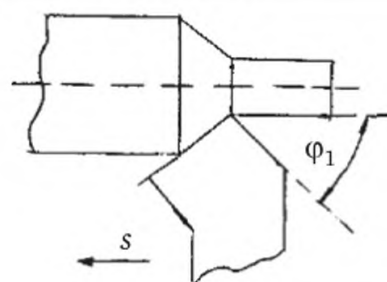


Главный угол в плане у токарных резцов изменяется в пределах от  $18^\circ$  до  $90^\circ$ .

$$\phi = 18 \div 90^\circ$$

— вспомогательный угол в плане ( $\phi_1$ ) — это угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи;

Вспомогательный угол в плане



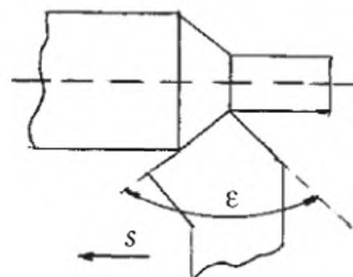


Вспомогательный угол в плане у токарных резцов изменяется в пределах от  $1^\circ$  до  $45^\circ$ .

$$\varphi_1 = 1 \div 45^\circ$$

Угол при вершине в плане

— угол при вершине в плане ( $\epsilon$ ) — это угол между проекциями главной и вспомогательной режущих кромок на основную плоскость.



Сумма углов  $\varphi$ ,  $\epsilon$ ,  $\varphi_1$  составляет  $180^\circ$ .

$$\varphi + \epsilon + \varphi_1 = 180^\circ$$

Значения углов в плане изменяются при различной установке резца относительно оси детали

К конструктивным параметрам режущей части резца также относятся:

Конструктивные параметры режущей части

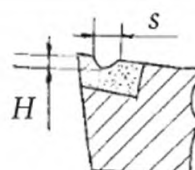
Радиус при вершине

— радиус при вершине резца ( $r$ ) (увеличивается в зависимости от вида резца);



Ширина и глубина стружкозавивающей канавки

— ширина и глубина стружкозавивающей канавки.





## 2.5. Осевые инструменты для обработки отверстий

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

- различать типы осевых инструментов для обработки отверстий;
- называть назначение и область применения осевых инструментов.

Осевыми инструментами называют инструменты, работающие с движением подачи, параллельным собственной оси.



К осевым инструментам, которые используются на токарных станках, относятся следующие металлорежущие инструменты:

- сверла;
- зенкеры;
- развертки.

### Осевые инструменты

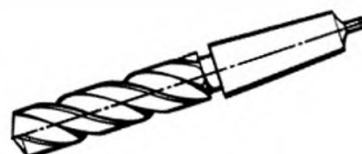
Сверла

Зенкеры

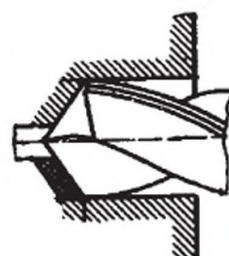
Развертки

**Сверлом** называется осевой режущий инструмент, предназначенный для обработки отверстий в сплошном металле.

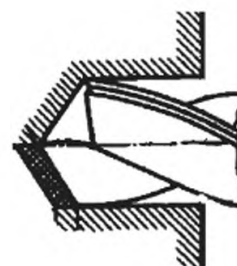
### Сверло



Сверла также применяют для увеличения диаметра (рассверливания) готовых отверстий.



Процесс обработки отверстия сверлом называется сверлением или рассверливанием.



Сверление и рассверливание позволяют обработать отверстие с допуском по 12—14 квалитетам и обеспечивает параметр шероховатости Ra 12,5—6,3 мкм.

Сверление  
Точность отверстия  
по 12—14 квалитетам  
Шероховатость  
Ra 12,5—6,3 мкм

В машиностроительной промышленности используют следующие виды сверл:

### Виды сверл

— **спиральные сверла**. Применяются для сверления и рассверливания отверстий глубиной не более пяти диаметров сверла;

### Сверло спиральное



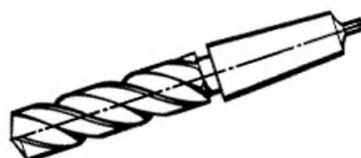
— **перовые сверла**. Обладают повышенной жесткостью и применяются для сверления гладких и ступенчатых отверстий в поковках и отверстий диаметром менее 1,5 мм.

### Сверло перовое



Спиральные сверла получили наиболее широкое распространение для обработки отверстий на токарных станках.

### Наибольшее распространение

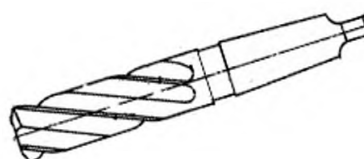


Спиральные сверла изготавливают из инструментальной быстрорежущей стали марок P9, P18, P6M5.

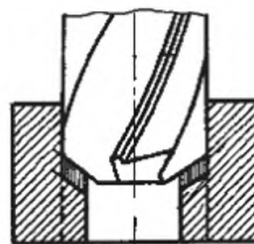
Материал сверл  
Быстрорежущие стали  
P9, P18, P6M5

**Зенкером** называется осевой режущий инструмент, предназначенный для обработки отверстий, полученных после сверления, отливки,ковки,штамповки, с целью повышения точности отверстия.

### Зенкер



Процесс обработки отверстия зенкером называется зенкерованием.



Зенкерование позволяет обработать отверстие с допуском по 11—12 квалитетам и обеспечивает параметр шероховатости  $Ra\ 6,3—3,2\ \text{мкм}$ .

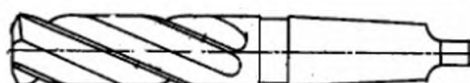
Зенкерование  
Точность отверстия  
по 11—12 квалитетам  
Шероховатость  
 $Ra\ 6,3—3,2\ \text{мкм}$

В машиностроительной промышленности используют следующие виды зенкеров:

#### Виды зенкеров

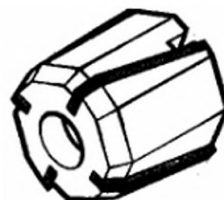
— *цельные хвостовые зенкеры*. Изготавливаются из быстрорежущей стали и применяются для зенкерования готовых отверстий;

#### Цельный хвостовой зенкер



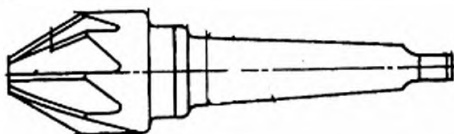
— *сборные насадные зенкеры* с механическим креплением режущих пластин, изготовленных из твердого сплава;

#### Сборный насадной зенкер



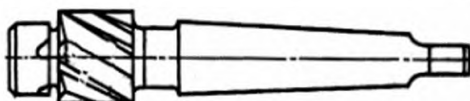
— *конические зенковки* с углами при вершине  $60^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ , применяемые для обработки фасок в отверстиях;

#### Коническая зенковка



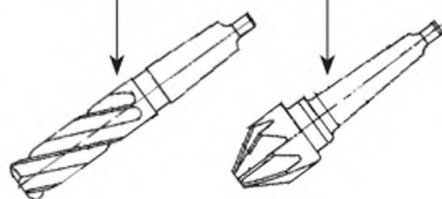
— *цилиндрические зенковки*, применяемые для обработки углублений под головки винтов.

#### Цилиндрическая зенковка



Цельные хвостовые зенкеры и конические зенковки получили наиболее широкое распространение для обработки отверстий на токарных станках.

Наибольшее распространение



Цельные хвостовые зенкеры и конические зенковки изготавливают из инструментальной быстрорежущей стали марок P9, P18, P6M5.

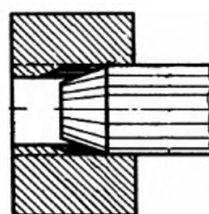
Материал зенкеров  
Быстрорежущие стали P9,  
P18, P6M5

**Разверткой** называется осевой режущий инструмент, предназначенный для повышения точности формы и размеров обрабатываемого отверстия и уменьшения шероховатости поверхности.

Развертка



Процесс обработки отверстия разверткой называется **развертыванием**.



Развертывание позволяет обработать отверстие с допуском по 6—10 квалитетам и обеспечивает параметр шероховатости Ra 2,5—0,32 мкм.

Развертывание  
Точность отверстия  
по 6—10 квалитетам  
Шероховатость  
Ra 2,5—0,32 мкм

В машиностроительной промышленности используют следующие виды разверток:

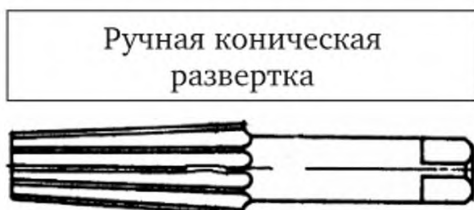
Виды разверток

— **ручные цилиндрические развертки** применяются для окончательной обработки цилиндрических отверстий вручную;

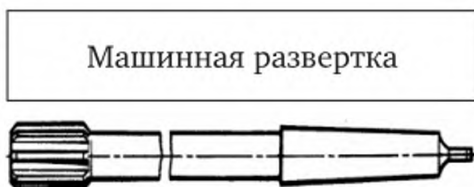
Ручная цилиндрическая  
развертка



— **ручные конические развертки** применяются для окончательной обработки конических отверстий вручную и на металлорежущих станках;



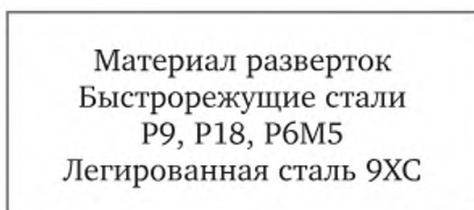
— **машинные цилиндрические развертки**, применяются для окончательной обработки цилиндрических отверстий на металлорежущих станках.



Ручные и машинные цилиндрические развертки, а также ручные конические развертки получили наиболее широкое распространение для окончательной обработки отверстий на токарных станках.



Ручные и машинные цилиндрические развертки, а также ручные конические развертки изготавливают из инструментальной быстрорежущей стали марок Р9, Р18, Р6М5, из легированной инструментальной стали 9ХС.

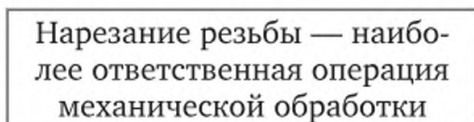


## 2.6. Инструменты для нарезания резьбы

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

- различать типы инструментов для нарезания резьбы;
- называть назначение, область применения инструментов для нарезания резьбы.

Обработка резьбовых поверхностей является одной из наиболее трудоемких и ответственных операций механической обработки.





Основными способами обработки резьбовых поверхностей являются следующие:

- точение резьбы;
- нарезание резьбы осевым инструментом;
- накатывание резьбы.

#### Способы нарезания резьбы

Точение резьбы

Нарезание осевым инструментом

Накатывание резьбы

**Точение резьбы** производится на токарных станках двумя способами:

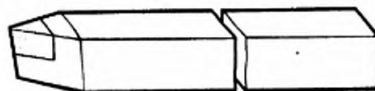
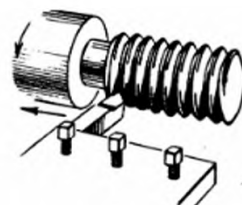
- многопроходное точение;
- однопроходное точение.

#### Точение резьбы

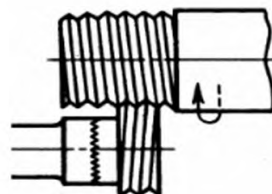
Многопроходное точение

Однопроходное точение

*Многопроходное точение* резьбы производится на токарных станках с помощью токарных резьбовых резцов.



*Однопроходное точение* резьбы производится на токарных станках с помощью резьбовых гребенок, которые могут быть круглыми и призматическими.



#### Резьбовые гребенки

Круглые

Призматические





Нарезание резьбы *осевым инструментом* может производиться на токарных станках или вручную с помощью:

- метчиков;
- плашек (клубпов);
- резбонарезных головок.

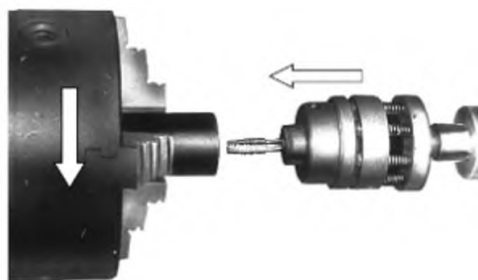
### Нарезание резьбы осевым инструментом

Нарезание резьбы метчиком

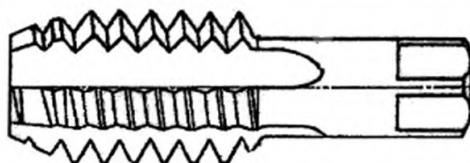
Нарезание резьбы плашкой

Нарезание резьбы резбонарезной головкой

*Метчик* предназначен для нарезания внутренней резьбы (резьбы в отверстиях). Метчиком можно нарезать резьбу на токарных станках и вручную.



Метчик



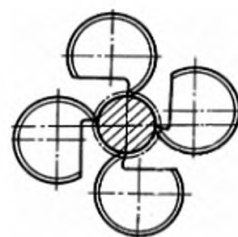
*Плашка* предназначена для нарезания наружной резьбы. Плашкой можно нарезать резьбу на токарных станках и вручную.



Плашка

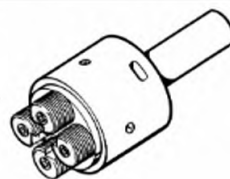


Резьбонарезные головки могут применяться как для нарезания наружной так и для нарезания внутренней резьбы на токарных станках.

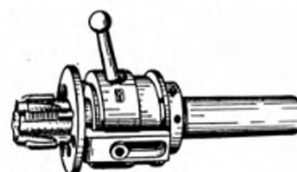


Резьбонарезные головки

Для нарезания  
наружной резьбы



Для нарезания  
внутренней резьбы



Накатывание резьбы производится на резьбонакатных станках с помощью:

- плоских накатных плашек;
- круглых накатных плашек.

Накатывание резьбы

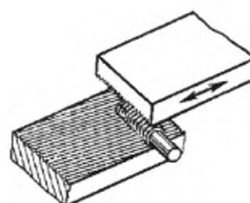
Плоскими накатными  
плашками

Круглыми накатными  
плашками

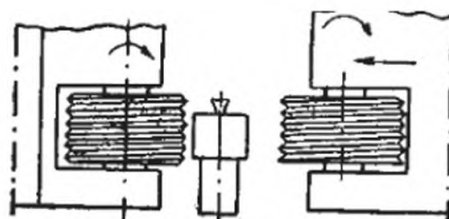
Плоские накатные плашки образуют резьбовую поверхность в результате пластической деформации материала детали (1), вращающейся между перемещающимися навстречу профильными поверхностями плашек (А, В).



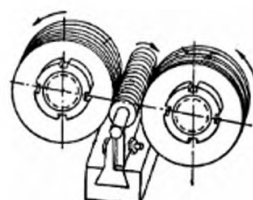
Плоские накатные плашки



**Круглые накатные плашки** работают методом пластической деформации металла и образуют резьбовую поверхность в результате деформации материала детали, вращающейся между вращающимися навстречу друг другу профильными поверхностями плашек.



Круглые накатные плашки



## 2.7. Фрезы

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

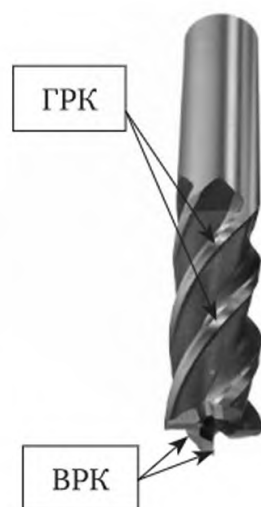
- различать типы фрез;
- называть назначение, область применения фрез.

Обработка плоских поверхностей, пазов, уступов, контуров, карманов и т. д. на станках с ЧПУ выполняется с помощью фрез.

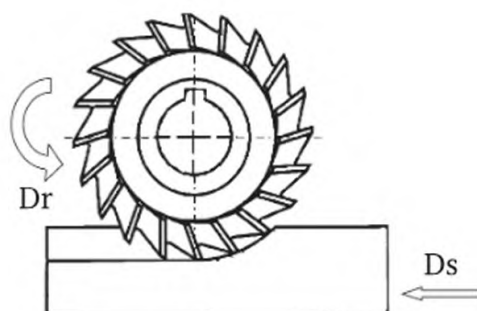
Фрезы — инструменты для обработки плоских поверхностей

Фреза представляет собой многолезвийный инструмент, режущие кромки которого расположены на цилиндрической и торцовой поверхности.

На цилиндрической поверхности фрезы чаще всего располагаются главные режущие кромки (ГРК) торцовой – вспомогательные режущие кромки (ВРК).



При фрезеровании фреза получает вращательное главное движение, а обрабатываемая заготовка — поступательное движение подачи.

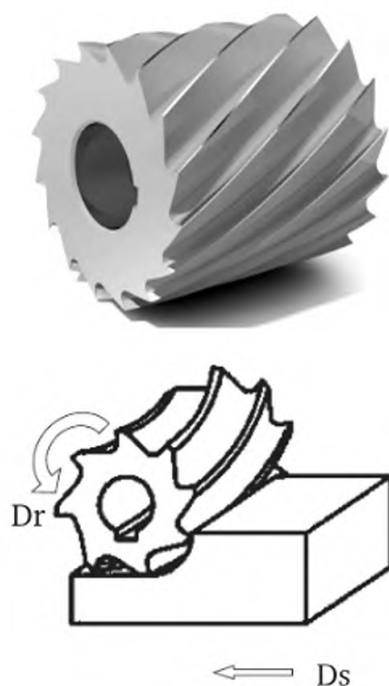


Различают следующие виды фрез, которые чаще всего применяются для обработки деталей:

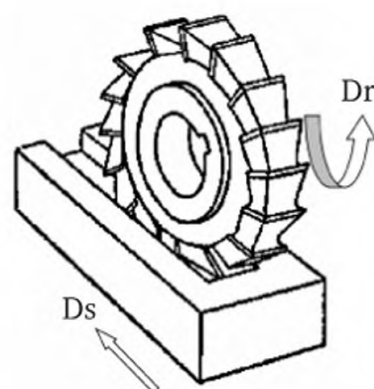
- цилиндрические;
- дисковые;
- торцово-цилиндрические;
- торцовые;
- резьбовые;
- Т-образные.



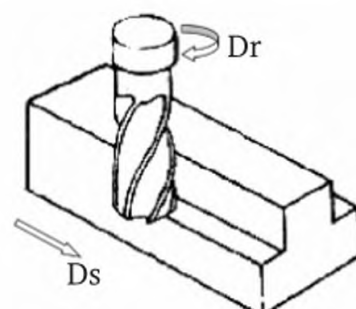
Цилиндрические фрезы чаще всего применяются для обработки плоскостей. Ось фрезы располагается горизонтально, фреза устанавливается на оправке фрезерного станка.



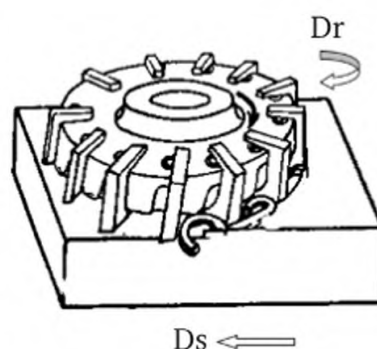
**Дисковые фрезы** чаще всего применяются для обработки прямоугольных пазов, а отрезные фрезы — для отрезания заготовок или деталей на фрезерном станке. Ось фрезы располагается горизонтально, фреза устанавливается на оправке фрезерного станка.



**Торцово-цилиндрические фрезы** чаще всего применяются для обработки уступов и пазов. По способу крепления в шпинделе станка торцово-цилиндрическая фреза является фрезой концевой типа, устанавливается с достаточно большим вылетом. Это позволяет вести обработку торцово-цилиндрической фрезой наружных и внутренних контуров на станках с ЧПУ.



**Торцовые фрезы** чаще всего применяются для обработки плоскостей. Ось фрезы располагается вертикально, фреза устанавливается в шпиндель фрезерного станка. Торцовые фрезы отличаются большим диаметром и большим количеством режущих зубьев, что позволяет назначать достаточно большие скорости резания и величины подач.



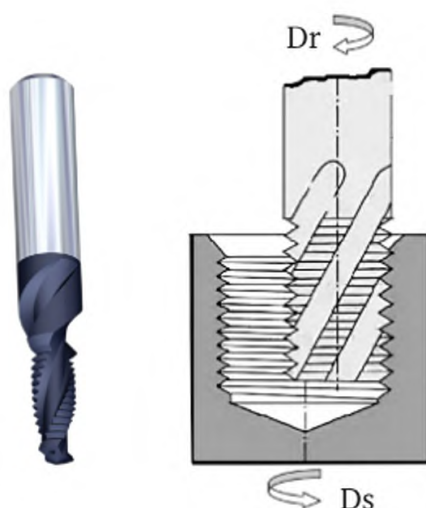


Чаще всего торцовые фрезы изготавливаются сборными с механическим креплением режущих пластин.



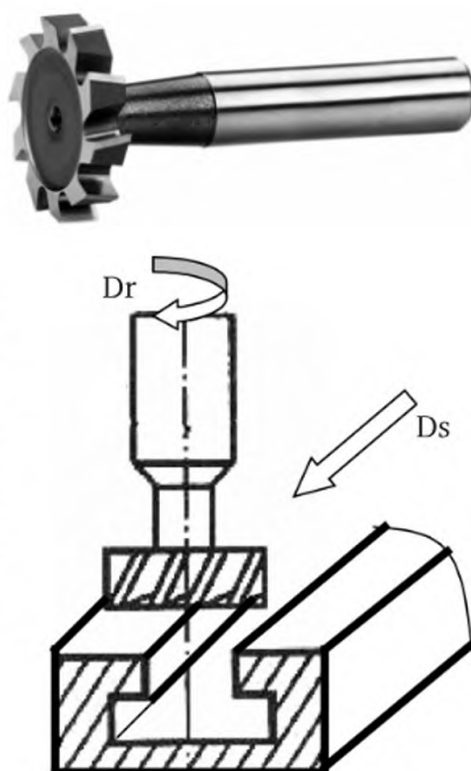
**Резьбовые фрезы** чаще всего применяются для обработки наружных и внутренних резьбовых поверхностей.

В процессе резьбофрезерования должна быть обеспечена обратная подача фрезы с величиной, равной шагу нарезаемой резьбы. При внутреннем резьбофрезеровании рабочие движения фрезы совершает при углублении в обрабатываемое отверстие, а обратное движение должно осуществляться при обратном вращении фрезы с подачей, которая также равна шагу фрезы.



**Т-образные фрезы** чаще всего применяются для обработки Т-образных пазов.

Предварительно на детали должен быть отфрезерован прямоугольный паз, который обрабатывается с помощью дисковой или торцово-цилиндрической фрезы, а затем расфрезеровывается Т-образной фрезой по заданным размерам. Ось фрезы при этом располагается вертикально, фреза устанавливается в шпиндель фрезерного станка.



## Шаг 3

# УСТРОЙСТВО ФРЕЗЕРНОГО И ТОКАРНОГО СТАНКОВ С ЧПУ. НАЛАДКА СТАНКА С ЧПУ

### 3.1. Устройство фрезерного станка с ЧПУ

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

- различать механизмы и узлы фрезерного станка с ЧПУ;
- объяснять назначение механизмов и узлов фрезерного станка с ЧПУ.

Фрезерный станок с ЧПУ применяется для программной обработки плоских поверхностей, пазов, уступов с помощью концевых фрез.

Рассмотрим конструкцию фрезерного станка «ЮМ-Ф1».

Фрезерный станок с ЧПУ



Фрезерный станок с ЧПУ «ЮМ-Ф1» включает в себя следующие конструктивные элементы:

- станина;
- суппорт;
- рабочий стол;
- привод движения подачи;
- привод главного движения;
- датчики обратной связи (ОС);
- защитный экран.

Конструктивные элементы станка с ЧПУ

Станина
Суппорт
Рабочий стол
Привод движения подачи
Привод главного движения
Датчики ОС
Защитный экран

**Станина** представляет собой базовую деталь станка. Станина выполняется в виде сварной многореберной конструкции, обеспечивающей жесткость станка.

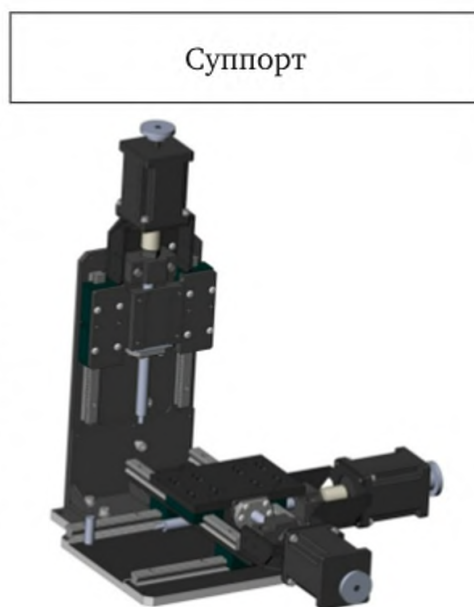
Станина предназначена для установки всех узлов и механизмов станка с ЧПУ. На станине устанавливаются направляющие перемещения суппорта и шпиндельного узла.



**Суппорт** размещается на станине станка и может перемещаться по направляющим станины вправо-влево и вперед-назад.

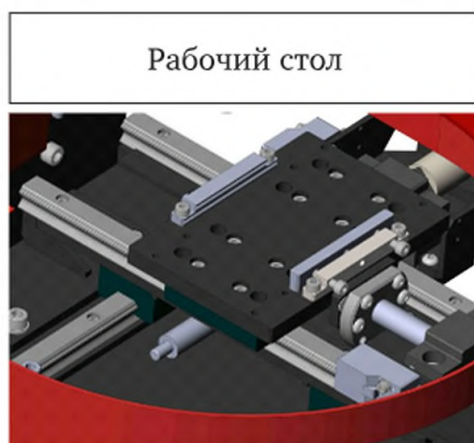
Направляющие станины тщательно обрабатываются, так как точность станка зависит от точности формы и качества поверхностей направляющих.

На суппорте размещается рабочий стол.



**Рабочий стол** размещается на суппорте и служит для установки и закрепления обрабатываемой заготовки.

Рабочему столу сообщается движение подачи с помощью привода подачи.





**Привод движения подач** состоит из двух конструктивных элементов:

- шаговый двигатель;
- механизм преобразования движения.

**Шаговый двигатель** является источником кинетической энергии движения подач.

Шаговые двигатели перемещают рабочий стол в продольном и поперечном направлениях, а шпиндельный узел — в вертикальном направлении.

Шаговые двигатели позволяют строго дозировать перемещения рабочих органов станка за счет фиксированного поворота вала двигателя.

**Механизм преобразования движения** предназначен для преобразования вращательного движения вала шагового двигателя в возвратно-поступательное движение рабочего стола или шпиндельного узла по направляющим.

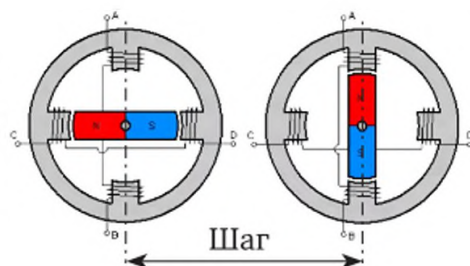
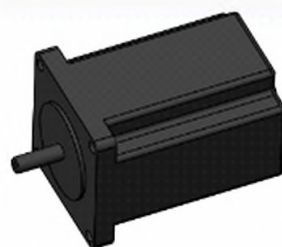
Механизмом преобразования движения в станке с ЧПУ ЮМ-1Ф является шарико-винтовая пара, состоящая из ходового винта и гайки, которая и преобразует вращательное движение привода в прямолинейное перемещение рабочего стола или шпиндельного узла.

#### Привод движения подач

Шаговый двигатель

Механизм преобразования движения

Шаговый двигатель

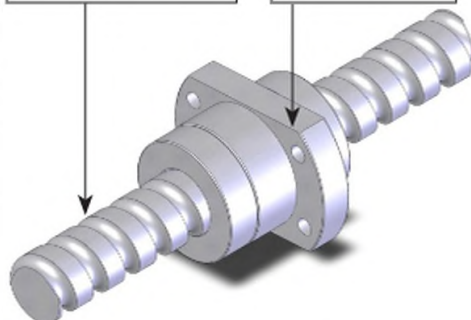


Механизм преобразования движения



Ходовой винт

Гайка



**Привод главного движения** состоит из двух конструктивных элементов:

- электродвигатель;
- шпиндель.

Привод главного движения

Электродвигатель

Шпиндель

**Электродвигатель** является источником кинетической энергии главного движения — вращения шпинделя, и позволяет осуществлять бесступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя.

Электродвигатель

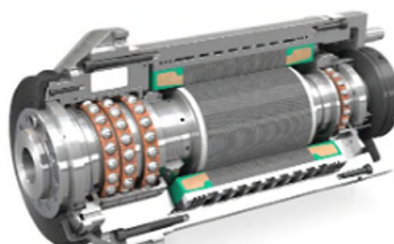


Пределы регулирования частоты вращения шпинделя: 2000—24 000 об/мин.

Частота вращения шпинделя:  
2000—24 000 об/мин

**Шпиндель** — рабочий орган привода главного движения. Шпиндель предназначен для установки режущего инструмента и придания ему вращения.

Шпиндель



Шпиндель закреплен на колонне, которая может перемещаться в вертикальном направлении (вверх/вниз).

От точности вращения шпинделя, его жесткости и виброустойчивости в значительной мере зависят точность и качество обработки.

Требования к шпинделю

Точность

Жесткость

Виброустойчивость



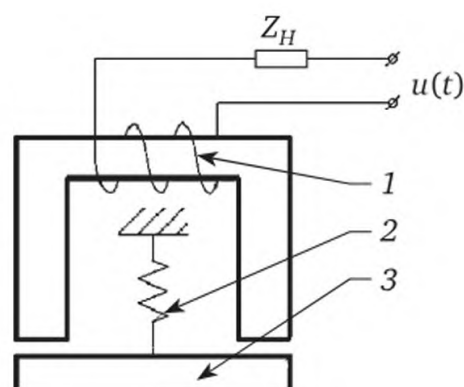
**Датчики обратной связи (ОС)** образуют систему обратной связи, которая позволяет устройству ЧПУ (УЧПУ) отслеживать величину и направление перемещения рабочих органов станка.



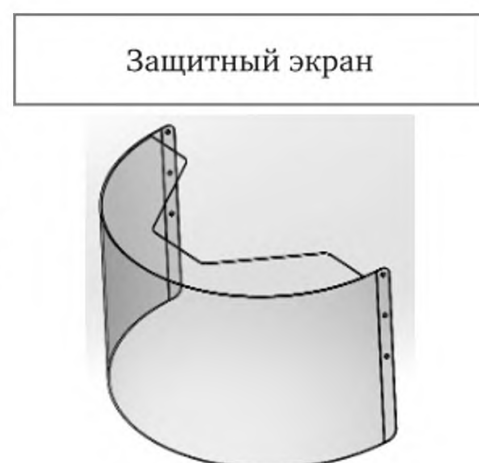
В качестве датчиков обратной связи используются индуктивные датчики положения и скорости. Они же позволяют «разогнать станок в ноль», то есть вывести шпиндельный узел в нулевую точку станка.



Индуктивный датчик обратной связи состоит из катушки 1, пружины 2 и якоря 3.



**Защитный экран** предназначен для защиты оператора станка от летящей стружки.



### 3.2. Устройство токарного станка с ЧПУ

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

- различать механизмы и узлы токарного станка с ЧПУ;
- объяснять назначение механизмов и узлов токарного станка с ЧПУ.

Токарный станок с ЧПУ применяется для программной обработки деталей типа «тело вращения» (наружные и внутренние цилиндрические, конические и фасонные поверхности).

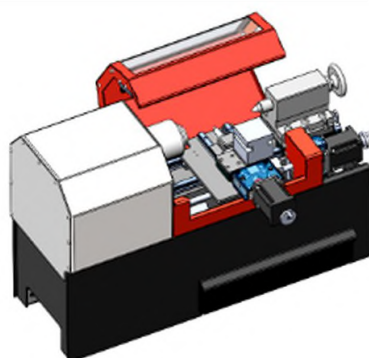
Рассмотрим конструкцию токарного станка ЮМ-Т1.

Токарный станок с ЧПУ ЮМ-Т1 включает в себя следующие конструктивные элементы:

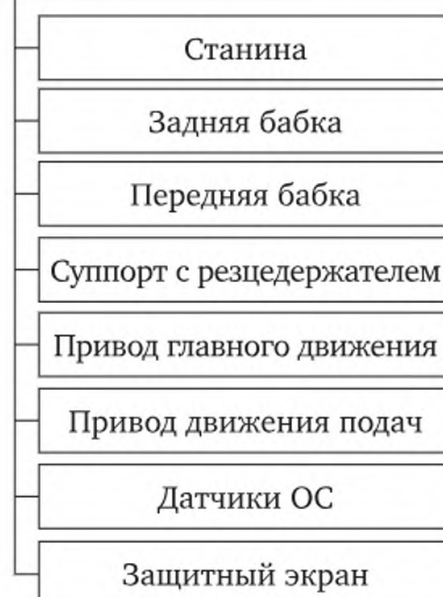
- станина;
- задняя бабка;
- передняя бабка;
- суппорт с резцедержателем;
- привод главного движения;
- приводы движения подач;
- датчики обратной связи (ОС);
- защитный экран.

**Станина** представляет собой базовую деталь станка. Станина выполняется в виде сварной многореберной конструкции, обеспечивающей жесткость станка.

Токарный станок с ЧПУ

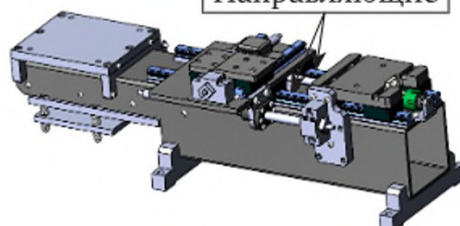


Конструктивные элементы станка с ЧПУ



Станина

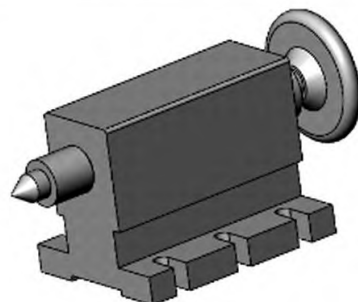
Направляющие



Станина предназначена для установки всех узлов и механизмов станка с ЧПУ. На станине устанавливаются направляющие перемещения суппорта с резцедержателем.

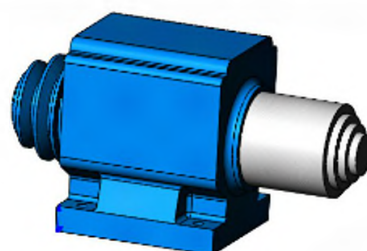
**Задняя бабка** размещается справа на станине станка. Задняя бабка имеет пиноль, перемещение которой осуществляется за счет маховика. Пиноль позволяет обеспечить дополнительную опору для обрабатываемой детали длиной более пяти диаметров.

Задняя бабка



**Передняя бабка** служит для установки шпиндельного узла. **Шпиндель** — рабочий орган привода главного движения. Шпиндель предназначен для установки токарного патрона, в который устанавливается обрабатываемая заготовка.

Передняя бабка



От точности вращения шпинделя, его жесткости и виброустойчивости в значительной мере зависят точность и качество обработки.

Требования к шпинделю

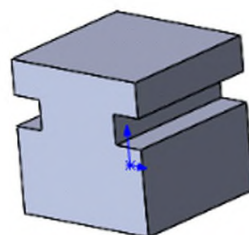
Точность

Жесткость

Виброустойчивость

**Суппорт с резцедержателем** располагается на направляющих станка. Суппорт обеспечивает перемещение инструмента по осям станка (ось X и ось Z). Резцедержатель служит для установки режущего инструмента.

Суппорт с резцедержателем



**Привод главного движения** состоит из двух конструктивных элементов:

- электродвигатель;
- шпиндель.

**Привод главного движения**

Электродвигатель

Шпиндель

**Электродвигатель** является источником кинетической энергии главного движения — вращения шпинделя, и позволяет осуществлять бесступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя.

Электродвигатель



Пределы регулирования частоты вращения шпинделя: 0—3000 об/мин.

Частота вращения шпинделя:  
0—3000 об/мин

**Привод движения подачи** состоит из двух конструктивных элементов:

- шаговый двигатель;
- механизм преобразования движения.

**Привод движения подачи**

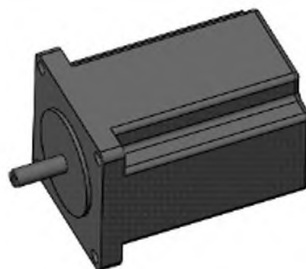
Шаговый двигатель

Механизм преобразования  
движения

**Шаговый двигатель** является источником кинетической энергии движения подачи.

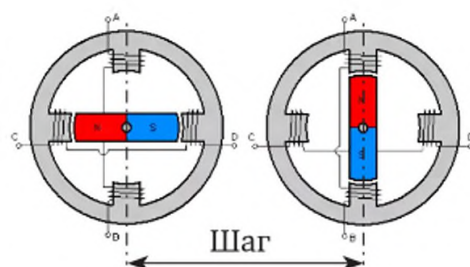
Шаговые двигатели перемещают рабочий стол в продольном и поперечном направлениях, а шпиндельный узел в вертикальном направлении.

Шаговый двигатель





Шаговые двигатели позволяют строго дозировать перемещения рабочих органов станка за счет фиксированного поворота вала двигателя.

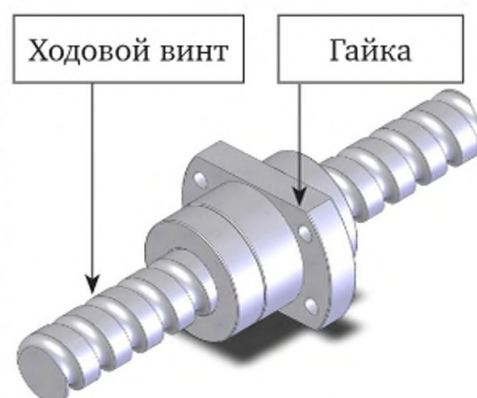


**Механизм преобразования движения** предназначен для преобразования вращательного движения вала шагового двигателя в возвратно-поступательное движение рабочего стола или шпиндельного узла по направляющим.

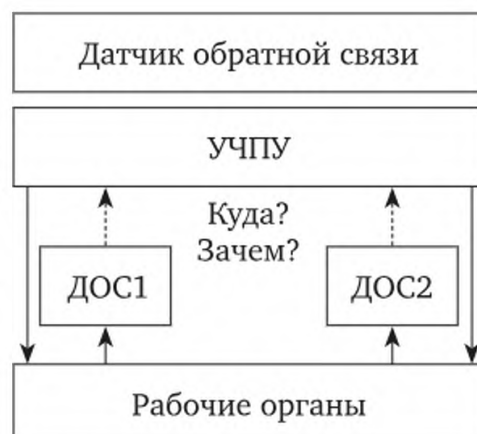
Механизм преобразования движения



Механизмом преобразования движения в станке с ЧПУ ЮМ-1Т является шарико-винтовая пара, состоящая из ходового винта и гайки, которая и преобразует вращательное движение привода в прямолинейное перемещение рабочего стола или шпиндельного узла.



**Датчики обратной связи (ОС)** образуют систему обратной связи, которая позволяет устройству ЧПУ (УЧПУ) отслеживать величину и направление перемещения рабочих органов станка.

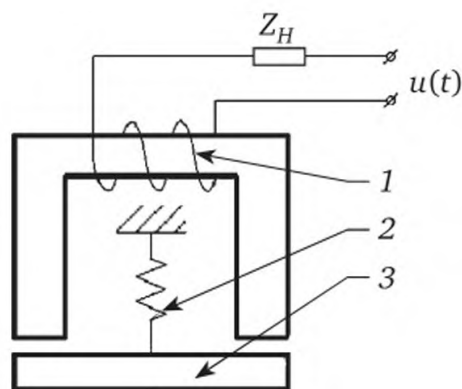


В качестве датчиков обратной связи используются индуктивные датчики положения и скорости. Они же позволяют «разогнать станок в ноль», то есть вывести шпиндельный узел в нулевую точку станка.



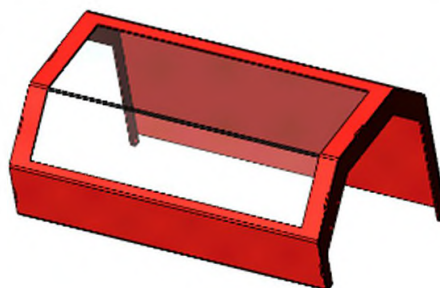


Индуктивный датчик обратной связи состоит из катушки 1, пружины 2 и якоря 3.



Защитный экран

Защитный экран предназначен для защиты оператора станка от летящей стружки.



### 3.3. Наладка станка с ЧПУ

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

- осуществлять установку ноля детали;
- осуществлять привязку инструмента.

Установка нулевой точки (точки отсчета программы) для обработки детали производится в следующей последовательности.

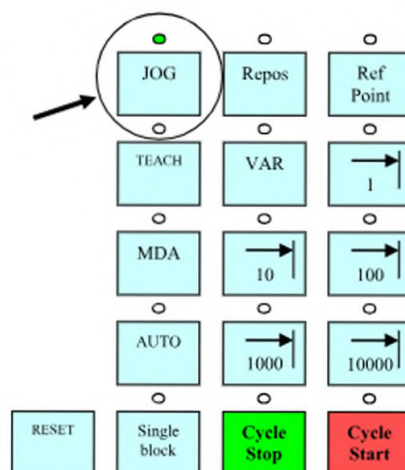
Последовательность  
установки ноля заготовки

Наладочные действия осуществляются с помощью специальной системы управления в режиме работы станка JOG (ручные наладочные перемещения).

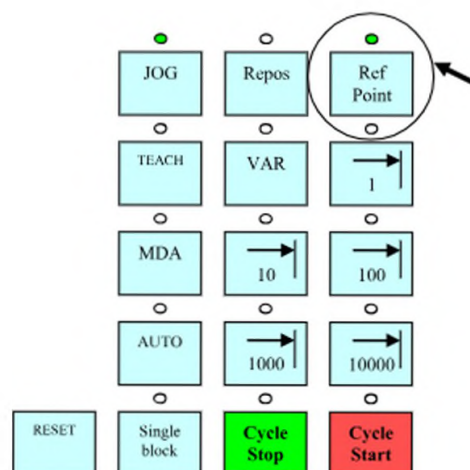
Отвод заготовки в исходные  
координаты станка

1. Отвести револьверную головку в исходные координаты станка (разогнать станок в ноль).

1.1. Включить кнопкой **JOG** режим JOG.



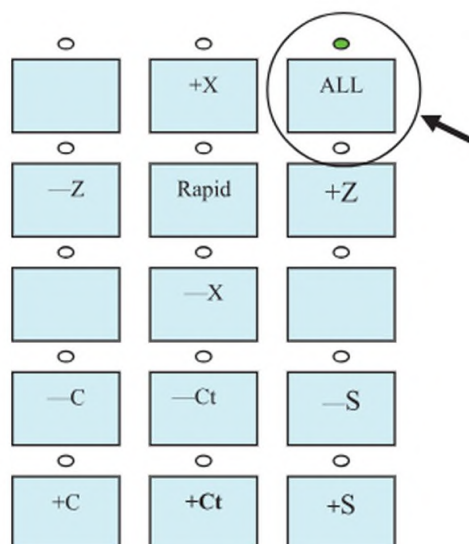
1.2. Нажать кнопку **RefPoint**.



1.3. Установить в ноль рукоятку изменения подачи.



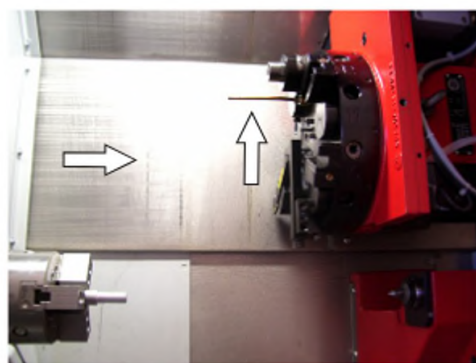
1.4. Нажать кнопку **All**.





1.5. Медленно увеличивать подачу, вращая рукоятку изменения подачи по часовой стрелке.



При этом суппорт начинает смещаться в исходное положение (разгоняться в ноль).



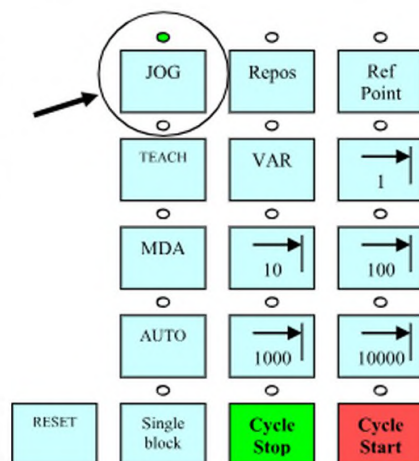
1.6. На экране появляются значения нулевых точек по соответствующим осям координат станка и их координаты нулевых точек.

MCS	Position	
 X1	95.000	мм
 Z1	295.000	мм
C1	0.017	грд
CT1	0.000	грд

1.7. Вернуть рукоятку изменения подач в исходное положение.



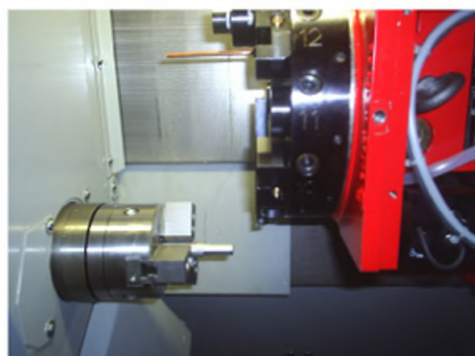
1.8. Нажать кнопку **JOG** и выйти из режима разгона станка в ноль (при этом индикатор у кнопки RefPoint гаснет).



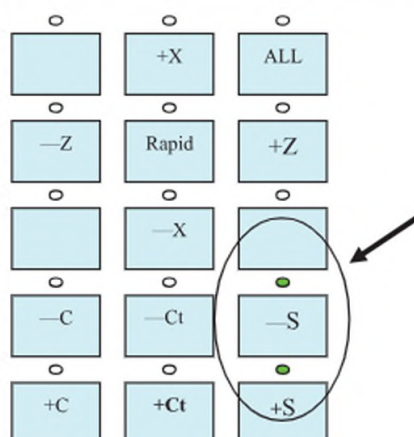
## 2. Установить ноль заготовки.

### Установка ноля заготовки

2.1. Установить заготовку в патрон с требуемым вылетом.

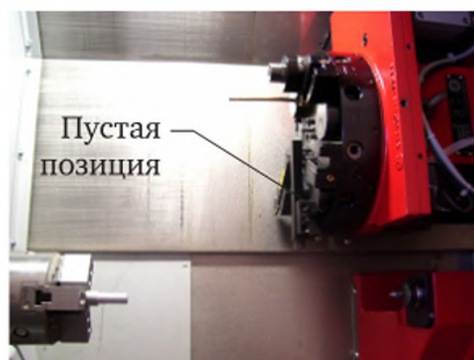


2.2. Нажимая кнопки **+S** и **-S**, установить в рабочее положение пустую позицию револьверной головки.





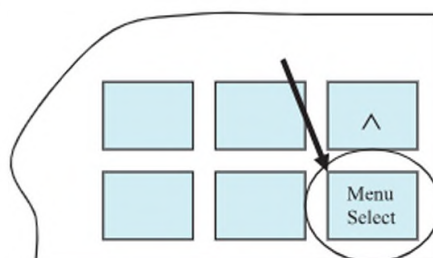
**ВНИМАНИЕ.** За одно короткое нажатие кнопок +S и –S револьверная головка поворачивается на одну позицию.



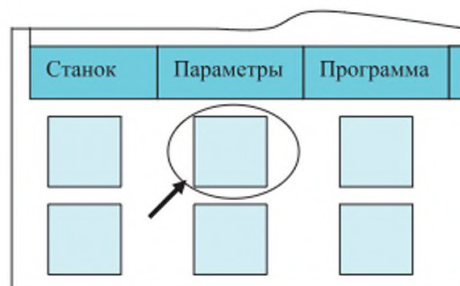
2.3. Обнулить значение функции G54 в следующей последовательности:

Обнуление значения функции G54

2.3.1. Нажать кнопку MenuSelect.



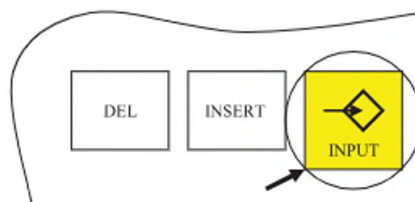
2.3.2. Выбрать режим работы Параметры и далее функцию СНТ.



2.3.3. С помощью клавиш перемещения по рабочему полю экрана войти в строку G54 (Coarse) и столбец Z.

Settable work offset			X [mm]	Z [mm]
G54	Coarse		0.000	40.000
	Fine		0.000	0.000
G55	Coarse		0.000	0.000
	Fine		0.000	0.000
G56	Coarse		0.000	0.000
	Fine		0.000	0.000
G57	Coarse		0.000	0.000
	Fine		0.000	0.000
G505	Coarse		0.000	0.000
	Fine		0.000	0.000
G506	Coarse		0.000	0.000
	Fine		0.000	0.000
G507	Coarse		0.000	0.000
	Fine		0.000	0.000
G508	Coarse		0.000	0.000
	Fine		0.000	0.000

2.3.4. С помощью клавиатуры ЧПУ установить в столбце нулевое значение и нажать кнопку **Input**.

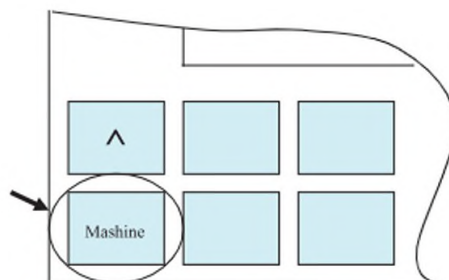




В строке G54 (Coarse) и столбце Z установится нулевое значение.

Settable work offset		X [mm]	Z [mm]
G54	Coarse	0.000	0.000
	Fine	0.000	0.000
G55	Coarse	0.000	0.000
	Fine	0.000	0.000
G56	Coarse	0.000	0.000
	Fine	0.000	0.000
G57	Coarse	0.000	0.000
	Fine	0.000	0.000
G58	Coarse	0.000	0.000
	Fine	0.000	0.000
G59	Coarse	0.000	0.000
	Fine	0.000	0.000

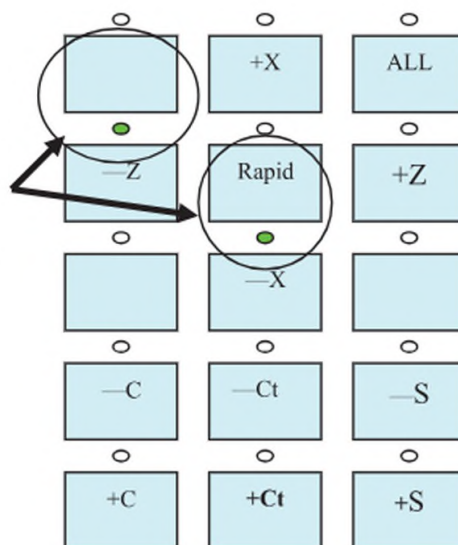
2.3.5. Выйти из режима Параметры в режим Машина, нажав кнопку **Mashine**.



2.4. Установить величину подачи 60 % с помощью рукоятки изменения подачи.



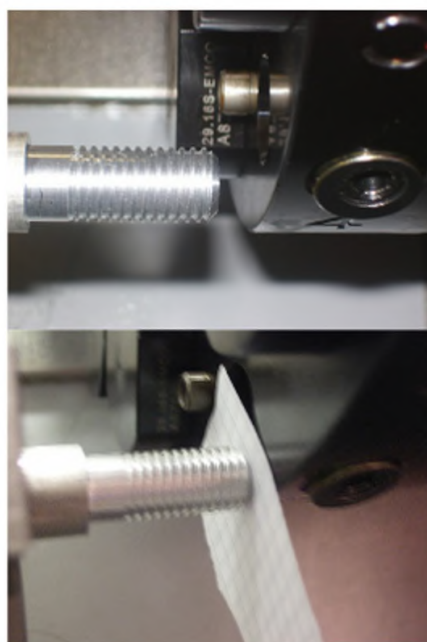
2.5. Нажимая кнопки **-Z** и **-X**, подойти торцом револьверной головки на расстояние от торца заготовки 5—10 мм (револьверная головка в пустой позиции).



2.6. Уменьшить подачу до 10 %, вращая рукоятку изменения подач.



2.7. Нажимая кнопки **-Z** и **-X**, подойти торцом револьверной головки на расстояние от торца заготовки 2—3 мм (револьверная головка в пустой позиции).



2.8. Установить кусочек бумаги между торцом заготовки и торцом револьверной головки и, нажимая кнопки **-Z** и **-X**, слегка зажать бумагу между торцами.

2.9. Выключить подачу, переведя рукоятку изменения подач в ноль.



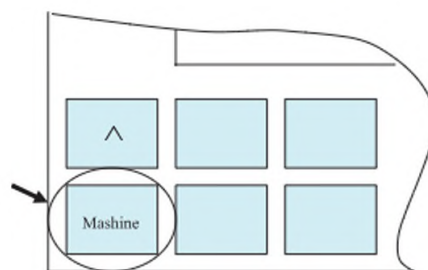
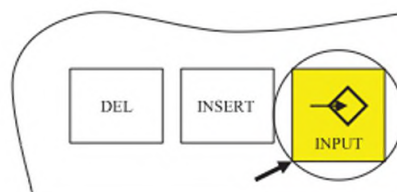
2.10. Проверить наличие режима MCS на экране ЧПУ и считать с экрана показания по оси Z1.

MCS	Position	
X1	95.000	мм
→ Z1	295.000	мм
C1	0.017	грд
CT1	0.000	грд

2.10. Повторяя шаги 2.3.1—2.3.5, внести считанное значение в строку G54 (Coarse), столбец Z, и нажать кнопку **Input**.

Settable work offset			
		X (mm)	Z (mm)
G54	Скорость	0.000	295.00
	Fine	0.000	0.000
G55	Coarse	0.000	0.000
	Fine	0.000	0.000
G56	Скорость	0.000	0.000
	Fine	0.000	0.000
G57	Coarse	0.000	0.000
	Fine	0.000	0.000
G58	Coarse	0.000	0.000
	Fine	0.000	0.000
G59	Coarse	0.000	0.000
	Fine	0.000	0.000
G60	Coarse	0.000	0.000
	Fine	0.000	0.000
G61	Coarse	0.000	0.000
	Fine	0.000	0.000
G62	Coarse	0.000	0.000
	Fine	0.000	0.000

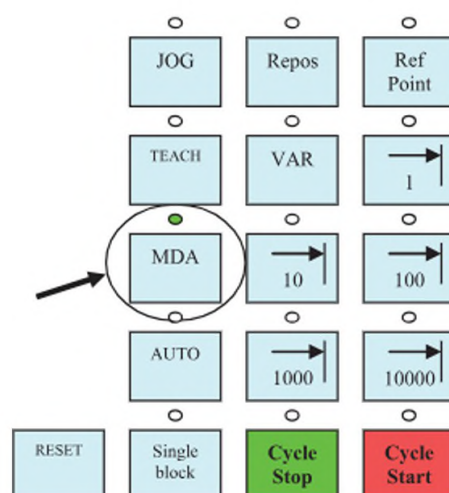
2.11. Нажать кнопку **Mashine** и перейти в режим Машина.



3. Отработать положение нулевой точки заготовки для внесения его с память ЧПУ.

Отработка положения нулевой точки

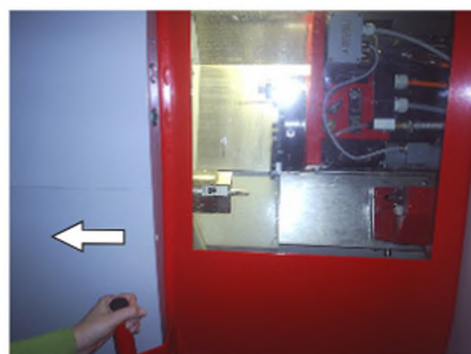
3.1. Нажать кнопку MDA и перейти в режим MDA.



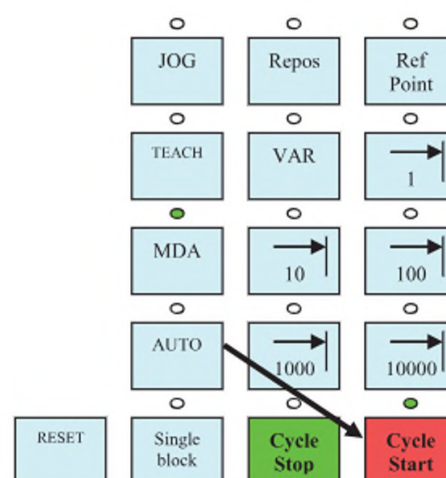
3.2. Внести в программную строку функции G54 M30 и нажать кнопку **Input**.

Программа MDA
G54
M30
= =eof= =

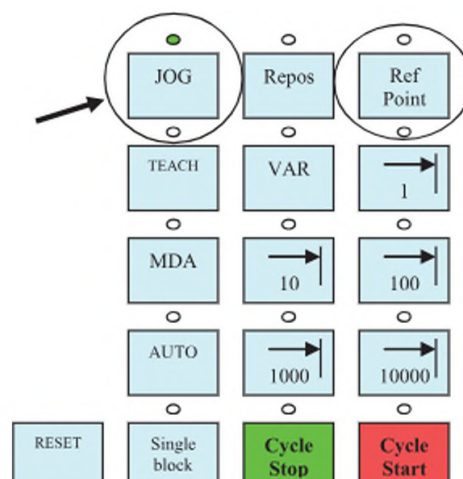
3.3. Закрыть дверь рабочей зоны станка.



3.4. Нажать кнопку **CycleStart**. При этом координаты нулевой точки заготовки вносятся в память ЧПУ.



3.5. Нажать кнопку **JOG** и перейти в режим JOG.

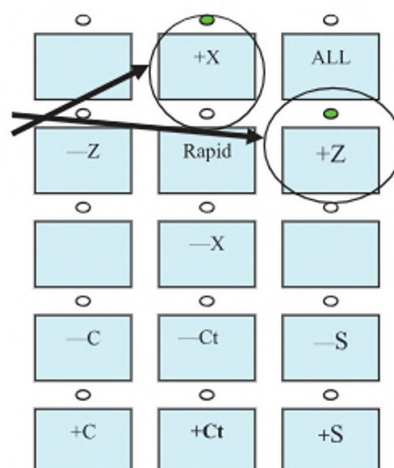




3.6. Установить подачу 50—60 %  
рукояткой изменения подач.



3.7. Нажимая кнопки **+Z** и **+X**,  
вывести револьверную головку  
от торца заготовки на расстояние,  
достаточное для поворота револь-  
верной головки в рабочую позицию.



3.8. Установить нулевое значение  
подачи с помощью рукоятки измене-  
ния подач.





## Шаг 4

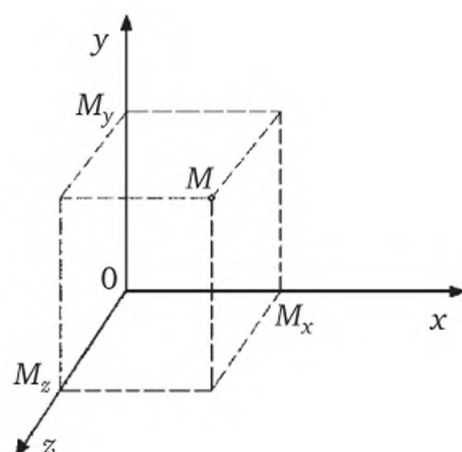
# ОСНОВЫ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

### 4.1. Система координат станка и детали

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

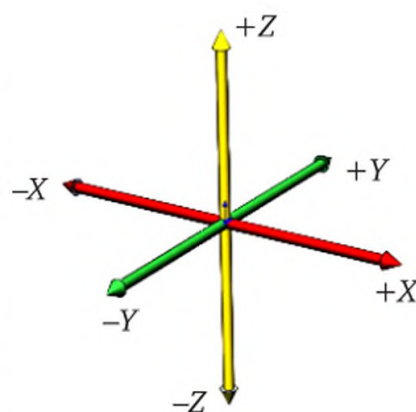
- различать систему координат станка;
- различать систему координат детали;
- интерпретировать принцип установки ноля детали и привязки инструмента.

Управление перемещениями осуществляется через использование некоторой системы координат. Рассмотрим прямоугольную декартову систему координат (ДПСК).

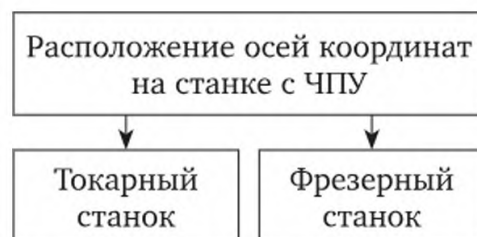


В практике программирования обработки деталей на станках с ЧПУ используется, главным образом, трехмерная ДПСК, которая позволяет описать положение точки в пространстве.

К двум имеющимся осям  $X$  и  $Y$  добавляется третья ось  $Z$ . Координаты точки указываются в скобках и идут в алфавитном порядке  $(x, y, z)$ .

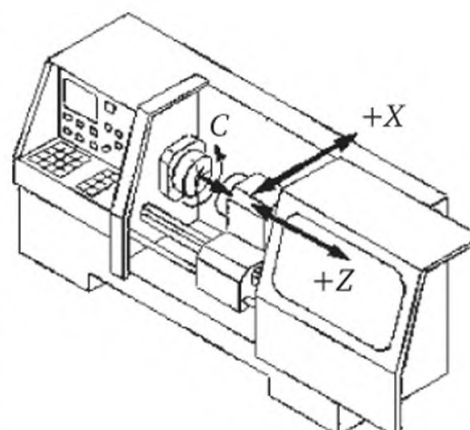


У станков с ЧПУ координатные оси расположены следующим образом:



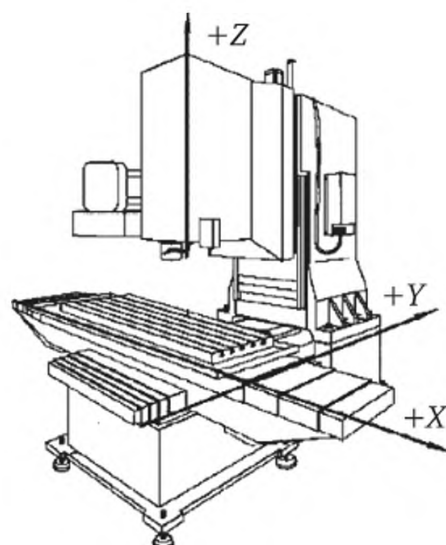
#### Токарный станок с ЧПУ:

- координатная ось  $Z$  совпадает с осью главного шпинделя. Положительное направление — от шпинделя к задней бабке;
- координатная ось  $X$  расположена перпендикулярно оси  $Z$ , но параллельно поперечным направляющим станка. Положительное направление — от оператора станка с ЧПУ;
- координатной оси  $Y$  токарный станок с ЧПУ не имеет.



#### Фрезерный станок с ЧПУ:

- координатная ось  $Z$  совпадает с осью главного шпинделя. Положительное направление оси  $Z$  — вверх;
- координатная ось  $X$  расположена перпендикулярно оси  $Z$ , но параллельно продольным направляющим стола станка. Положительное направление — вправо;
- координатная ось  $Y$  расположена перпендикулярно оси  $Z$ , но параллельно поперечным направляющим стола станка. Положительное направление — вперед.



По осям координат осуществляется линейное перемещение рабочего стола или инструмента. Деление на оси соответствует минимально возможному значению перемещения (дискрете).



В системе ЧПУ станков «Юниор-Т» и «Юниор-Ф» используется метрическая система, минимальное значение перемещения равно 0,001 мм. Начальная точка с координатами 0,0 — нулевая точка станка.

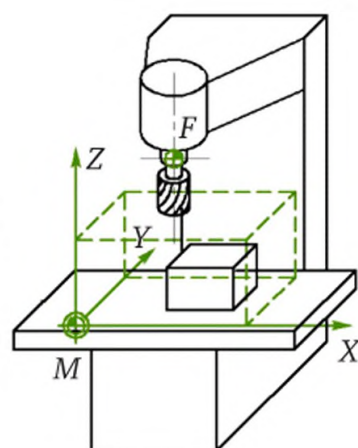


При создании управляющей программы программист всегда исходит из правила, что именно инструмент перемещается относительно неподвижной заготовки.

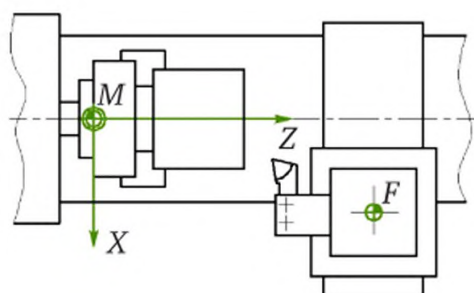


Нулевая точка станка — это положение базовой точки относительно начала координат станка с ЧПУ. Нулевая точка определяется изготовителем и не может быть изменена.

При фрезерной обработке нулевая точка станка находится в начале системы координат станка.





При токарной обработке нулевая точка станка располагается на торце шпинделя станка.



После включения станка необходимо переместить исполнительные органы в его нулевую точку, для того чтобы синхронизировать систему ЧПУ и станок.



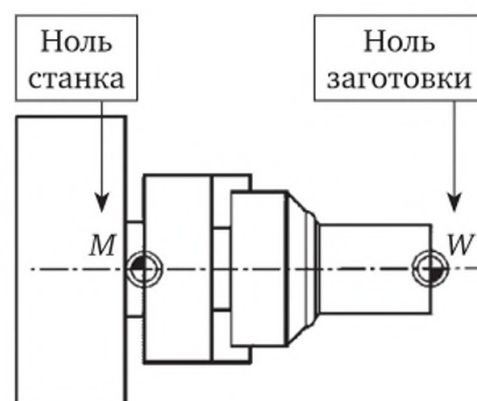
**Перед началом работы  
разгони станок в ноль**

MCS	Position	
 X1	95.000	мм
 Z1	295.000	мм
C1	0.017	град
CT1	0.000	град

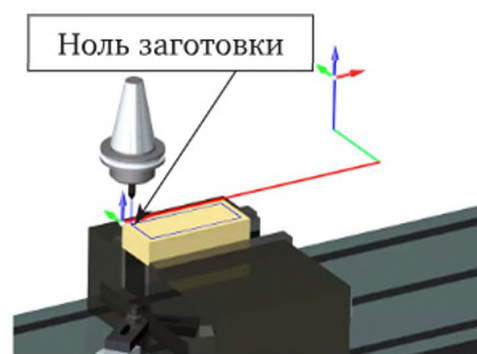
Нулевая точка заготовки — это положение точки начала системы координат заготовки. Она назначается программистом.



Нулевая точка заготовки обычно совпадает с измерительной базой, от которой отложено большинство координатных размеров детали.

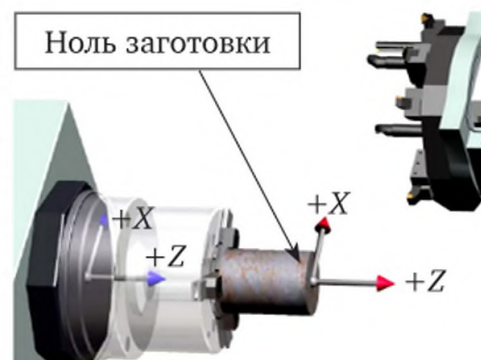


При фрезеровании нулевая точка заготовки обычно располагается на пересечении осей координат  $X$  и  $Y$  (это может быть один из углов или центр детали), а за ноль по оси  $Z$  принимают верхнюю поверхность детали.





При токарной обработке нулевая точка заготовки всегда лежит на оси вращения шпинделя и, как правило, на торцевой поверхности детали.



## 4.2. Основы программного управления. Код ISO-7bit

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

- интерпретировать термины «управляющая программа» и «кадр»;
- понимать структуру кадра управляющей программы;
- знать основные символы кода ISO-7bit.

Управляющая программа — это совокупность кадров, соответствующая заданному алгоритму функционирования станка по обработке конкретной заготовки и составленная на языке программирования.

```
N6 T31 D1 ; Schruppmeissel
N11 G96 S230 LIMS=3000 M4 M8
N16 G98 G54 G18 G0 X74 Z2.2 F0.32
N21 PLANEN P2 ; Unterprogramm für Plandrehen 2x abarbeiten
N26 CYCLE95("KONTUR1",3,0.2,0.5,0.3,0.3,0.2,0.3,1,0,0,1)
N31 M0P

N36 T38 D1 ; Schlichtmeissel
N41 G96 S300 LIMS=3000 M4 M8
N46 G98 G54 G18 G0 X5 Z4 F0.07
N51 G0 G42 X0
N56 G0 Z2
N61 KONTUR1
N66 G0 G40 X76
N71 M0P
```

Кадр — составная часть управляющей программы, отрабатываемая станком как единое целое.

Кадр записывается одной строкой и состоит из отдельных символов (слов).

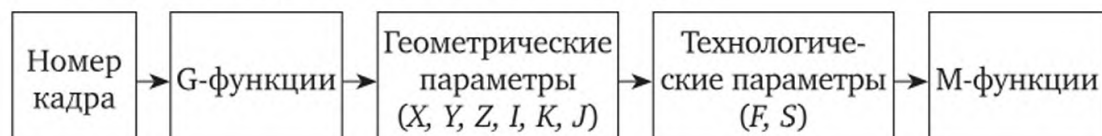
Структура кадра приведена в табл. 4.1.

N46 G98 G54 G18 G0 X5 Z4 F0.07

Таблица 4.1

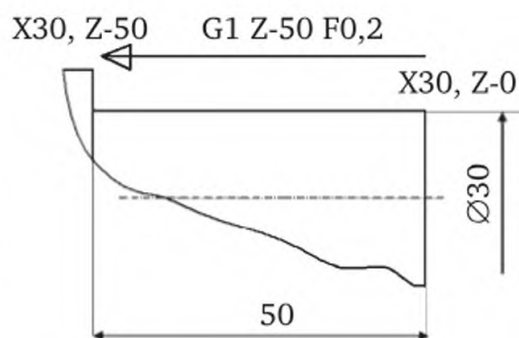
слово		слово		слово	
адрес	число	адрес	число	адрес	число
G	0	G	40	X	76

Общая последовательность записи кадра:





Система ЧПУ считывает и выполняет программу кадр за кадром. Часто программист назначает каждому кадру свой номер, который расположен в начале кадра и обозначен буквой N.



Символы, входящие в кадр, представляют собой основные коды и вспомогательные функции, определяемые международным кодом программирования — кодом ISO-7bit.

ISO-7bit

В целом управляющая программа начинается с вывода инструментального суппорта в точку смены инструмента. Далее описываются блоки программы. Каждый блок программы имеет следующую, общую для всех блоков, структуру.

1. В первом кадре блока осуществляется выбор инструмента. Например: T31 D1.

2. Во втором кадре дается информация о режимах работы главного шпинделя. Например: G96 S230 LIMS=3000 M4 M8.

3. В третьем кадре даются исходные данные: способ задания размеров, установка смещения нуля, задание рабочей плоскости, перемещение инструмента по X, Y. Например: G90 G95 G54 G18 G0 X74 Z2.2 F0.3.

4. В последующих кадрах даются: описание типа подпрограммы, вид обработки, значения параметров обработки и т.д. Например: G0 G42 X0

Основные коды, которые всегда начинаются с буквы G, перечислены в табл. 4.2.

Последовательность кадров

Выбор инструмента  
T31 D1

Режимы работы  
G96 S230 LIMS=3000 M4 M8

Исходные данные  
G90 G95 G54 G18 G0 X74 Z2.2  
F0.3

Описание перемещений  
и подпрограмм  
G0 G42 X0

## Основные коды

Команда	Значение
Определение способа задания размеров	
G90	Задание абсолютных размеров
G91	Задание инкрементных размеров
Установка смещения нуля детали	
G54	Активизация первого смещения нулевой точки («нуль» детали)
G55, G56, G57	Второе, третье и четвертое смещение нулевой точки
G53	Ликвидация всех смещений нулевой точки (работает по блокам)
G500	Отключение всех смещений нулевой точки
Выбор рабочей плоскости	
G17	Рабочая плоскость в координатах XY
G18	Рабочая плоскость в координатах XZ
G19	Рабочая плоскость в координатах YZ
Перемещение инструмента	
G0	Быстрый ход (подвод) инструмента
G1	Прямолинейная интерполяция (рабочее перемещение)
G2	Круговая интерполяция по часовой стрелке
G3	Круговая интерполяция против часовой стрелки
Корректировка радиуса инструмента	
G40	Отмена коррекции на радиус инструмента
G41	Коррекция на радиус инструмента слева от контура
G42	Коррекция на радиус инструмента справа от контура
Установка скорости подачи	
G94	Скорость подачи $F$ в мм/мин
G95	Скорость подачи $F$ в мм/об
Установка скорости резания	
G96	Постоянная скорость резания при точении
G97	Постоянное число оборотов при сверлении и нарезке наружной резьбы
Другие задания функции	
G4	Активация времени выдержки (пауза)

М-функции являются вспомогательными функциями и используются, например, для запуска операций включения шпинделя. В зависимости от М-функции, система ЧПУ станка активизирует ее либо до перемещения, либо во время перемещения, либо после перемещения.

Основные М-функции перечислены в табл. 4.3.

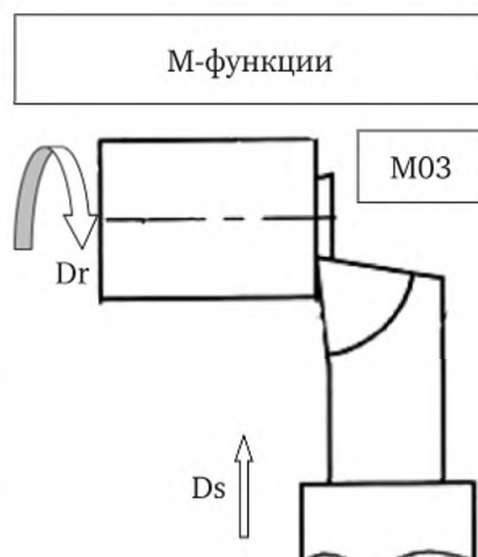


Таблица 4.3

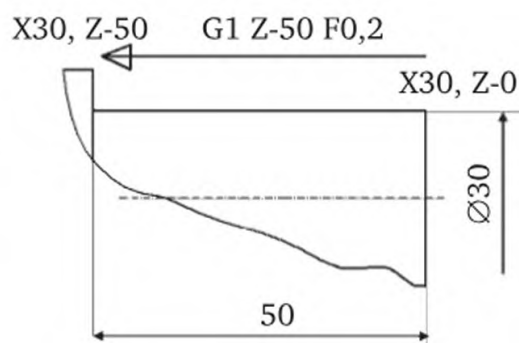
Основные М-функции

Команда	Значение
M0	Запрограммированный останов
M1	Останов по выбору
M3	Вращение шпинделя по часовой стрелке
M4	Вращение шпинделя против часовой стрелки
M5	Останов (отключение) шпинделя
M2=3	Инструмент с механическим приводом включить по часовой стрелке
M2=4	Инструмент с механическим приводом включить против часовой стрелки
M2=5	Инструмент с механическим приводом выключить
M6	Смена инструмента
M8	Подача смазочно-охлаждающей жидкости
M9	Отключение смазочно-охлаждающей жидкости
M17	Конец подпрограммы
M20	Задняя бабка назад
M21	Задняя бабка вперед
M23	Открытие контейнера для приема готовой детали
M24	Закрытие контейнера для приема готовой детали
M25	Зажим кулачкового патрона
M26	Разжатие кулачкового патрона
M30	Конец программы, переход на начало программы

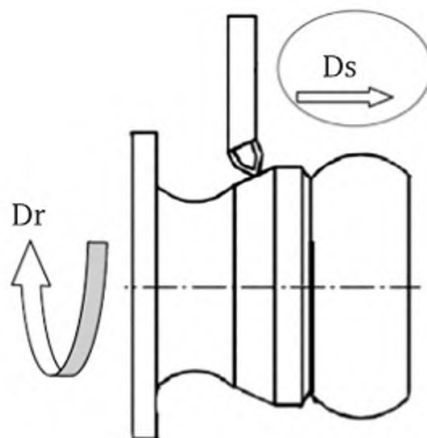
К переменным параметрам относятся X, Y, Z, I, J, K, F, S, T и др.

### Переменные параметры

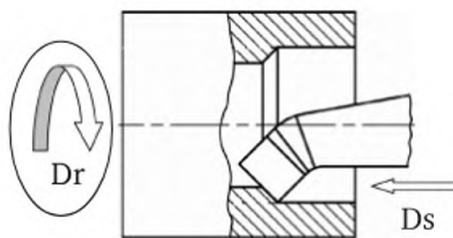
Адреса X, Y, Z, I, J, K и др. используют для обозначения координатных осей, вдоль которых осуществляются перемещения. Например: G1 Z-50 X30 (прямолинейное перемещение инструмента в координату Z-50 X30).



Адрес F (подача) в зависимости от подготовительной G-функции может быть указан в мм/об или в мм/мин. Например: G95 F0,2 (подача 0,2 мм/об).



Адрес S (скорость главного движения) устанавливается для определенного вида обработки. Например: G96 S200 (скорость главного движения 200 м/мин при точении).



Адрес T (инструмент) определяет выбор инструмента из соответствующей позиции в инструментальном магазине.





# Шаг 5

## ПРОГРАММИРОВАНИЕ ФРЕЗЕРНОЙ И ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

### 5.1. Программирование фрезерной обработки

#### 5.1.1. Интерфейс программы Linux CNC: фрезерная обработка

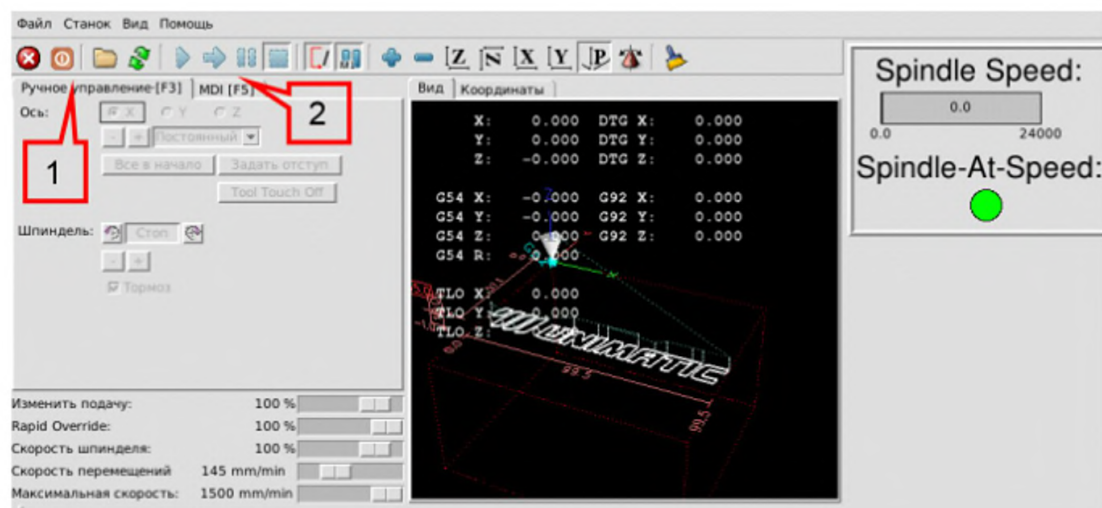
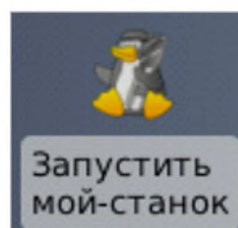
Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

- запускать программу Linux CNC;
- знать назначение управляющих кнопок;
- знать основные параметры вкладок Ручное управление и MDI.

На рабочем столе найдите ярлык программы Linux CNC и запустите его.

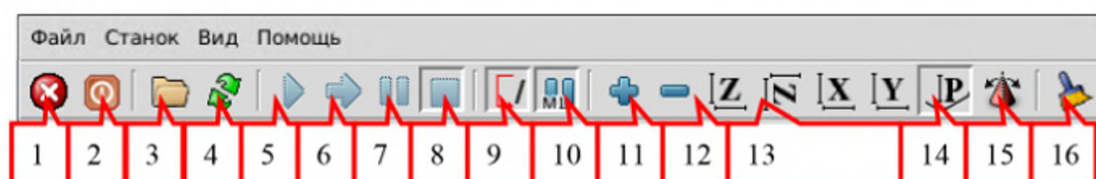
Откроется окно программы.

По умолчанию открывается окно *Ручное управление* (1), оно активно после включения питания. Далее следует другая вкладка: *MDI* (РВД-ручной ввод данных) (2).





Рассмотрим более подробно инструменты окна программы Linux CNC:



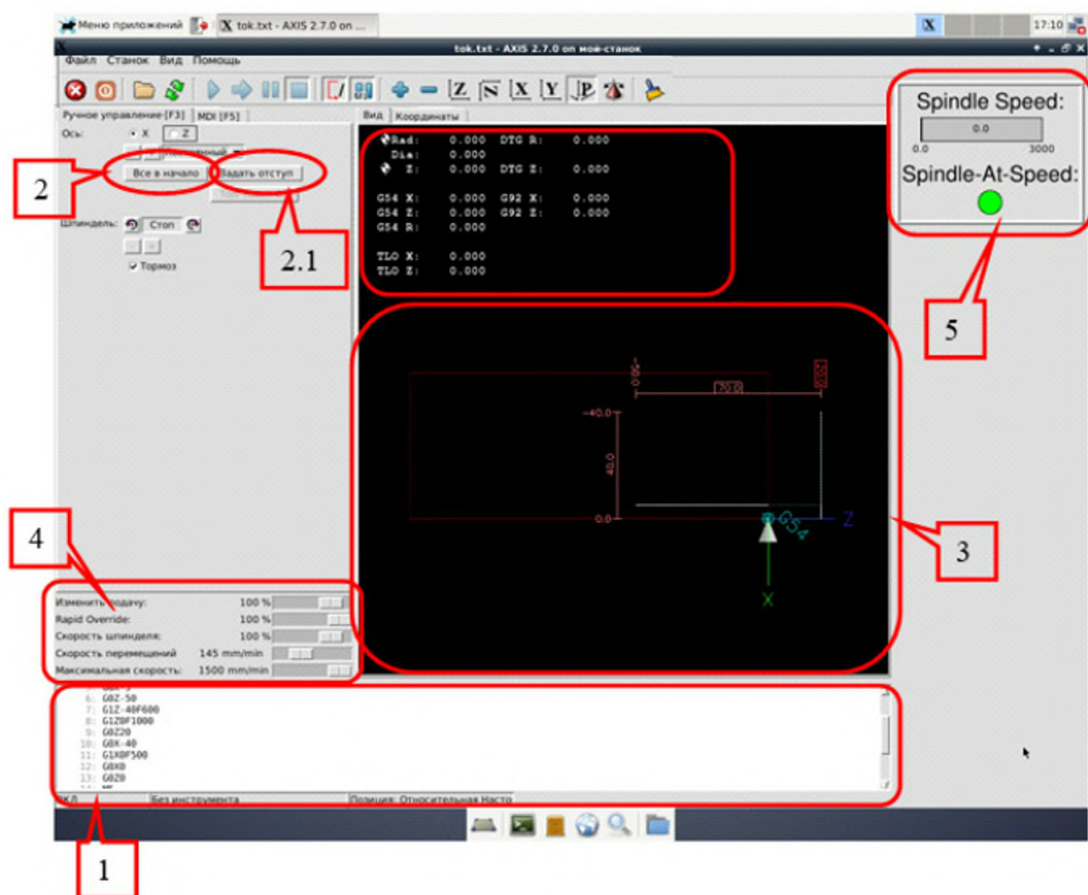
- [1] Аварийная остановка (F1).
- [2] Питание станка (F2).
- [3] Открыть файл с кодом (Ctrl-O).
- [4] Перечитать текущий файл (Ctrl-R).
- [5] Начать исполнение текущего файла (R).
- [6] Исполнить следующую строку (T).
- [7] Приостановить (P) или продолжить (S) исполнение.
- [8] Остановить исполнение программы (ESC).
- [9] Пропускать строки с «/» (Alt-M/).
- [10] Включить остановку по требованию Alt-M1.
- [11] Приблизить.
- [12] Удалить.
- [13] Разные ракурсы заготовки (Вид сверху, Повернутый вид сверху, Вид сбоку, Вид спереди).
- [14] Вид в перспективе.
- [15] Переключить между смещением и вращением (D).
- [16] Очистить путь (Ctrl-K).

Работа со станком начинается с нажатия оранжевой кнопки «Питание станка».

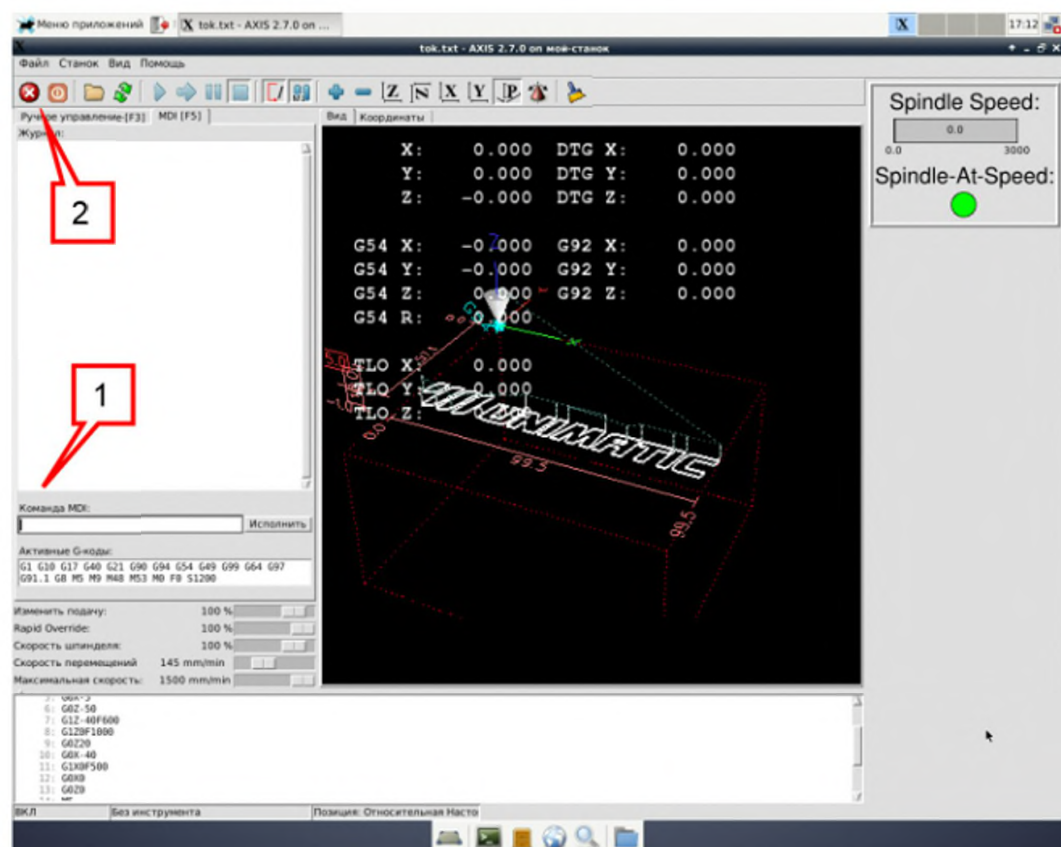


Рассмотрим основные параметры вкладки Ручное управление (Выполнение).

- [1] Окно отображения управляющей программы G-кодов.
- [2] Кнопка выхода в нулевую точку станка. Кнопка [2.1] *Задать отступ* обнуляет значения соответствующих координат. Рядом отображаются значения этих координат.
- [3] Окно визуализации маршрутов УП (сейчас это пустой черный квадрат на экране программы).
- [4] Блок *Feed Rate (Скорость подачи)* позволяет управлять скоростью подачи.
- [5] Блок *Spindle Speed (Частота вращения шпинделя)* позволяет управлять скоростью вращения шпинделя.

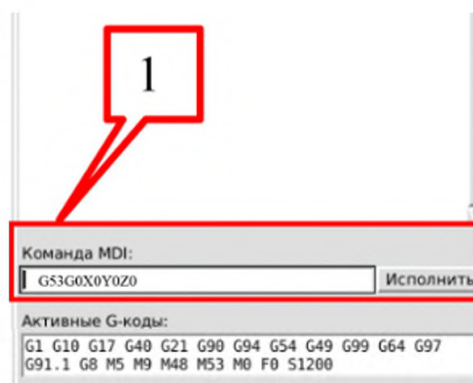


Рассмотрим основные параметры вкладки MDI (РВД — ручной ввод данных).



Вкладка MDI предназначена для ручного ввода данных. В этой вкладке вы можете построчно протестировать программный код или вывести шпиндель в нужное положение.

Для этого в строке ввода данных Команда MDI [1] напишите пример кода: G53G0X0Y0Z0 и нажмите кнопку *Исполнить*. Программа установит шпиндель в указанные координаты в «ноль станка». При этом в журнале MDI [2] сохранится введенный вами код.



### 5.1.2. Программирование линейных перемещений

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

- запускать программу Linux CNC;
- разгонять станок в нулевые точки;
- программировать линейные перемещения и УП.

Программирование фрезерной обработки линейных поверхностей на станке с ЧПУ в системе Linux CNC производится в следующей последовательности:

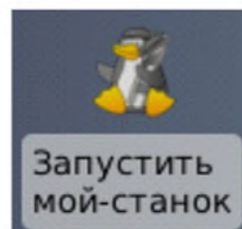
#### Программирование линейных перемещений

#### 1. Включите станок.

Включите станок



#### 2. Откройте программное обеспечение Linux CNC.

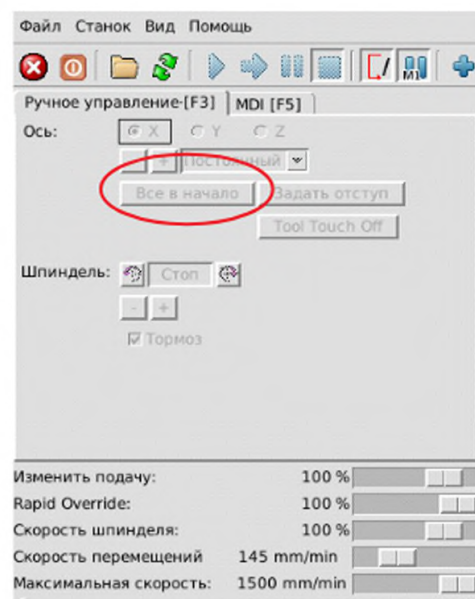


3. Выведите рабочие органы станка в ноль (разгон станка в ноль). Чтобы разогнать станок в ноль, выполните следующие действия:

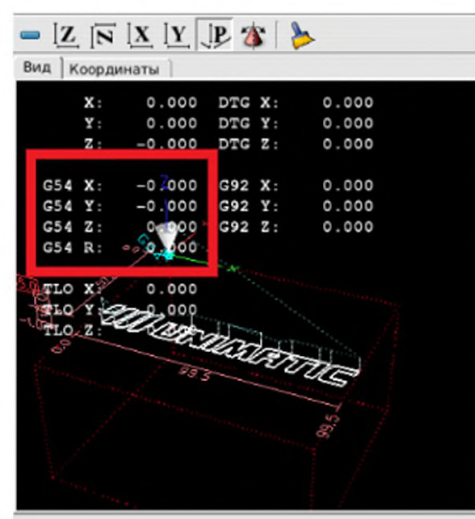
Разгоните станок  
в ноль по осям



3.1. Нажмите кнопку Все в начало. При этом станок автоматически сместит рабочее поле и встанет в «ноль станка».



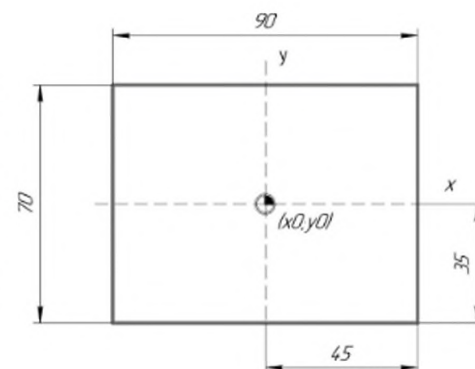
3.4. Дождитесь окончания движения, после этого проверьте все значения осей X, Y, Z в поле.



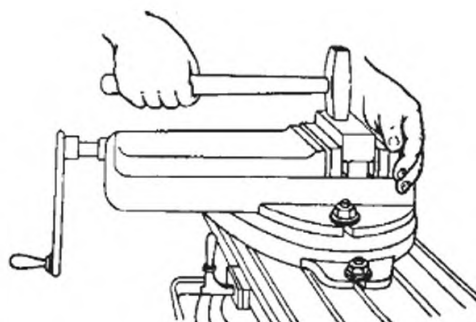
4. Привязка ноля заготовки. Чтобы привязать ноль заготовки, выполните следующие действия:

Привяжите заготовку по осям X, Y и Z

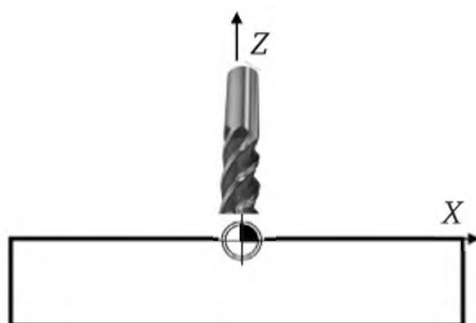
4.1. Проанализируйте чертеж детали и выберите положение нулевой точки. Поскольку деталь симметрична, то на чертеже выбрана нулевая точка в центре (в точке пересечения осей X и Y). Нулевая точка обозначена символом  $\odot$ .



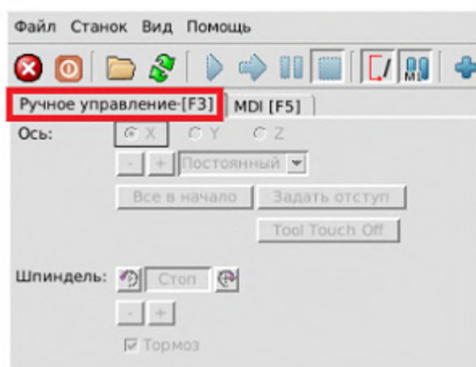
4.2. Закрепите заготовку в станке.



4.3. Подведите фрезу к нулевой точке заготовки с помощью кнопок на клавиатуре ← (влево по оси  $x$ ) → (вправо по оси  $x$ ) ↑ (на себя по оси  $y$ ) ↓ (от себя по оси  $y$ ) и – (вниз по оси  $z$ ) + (вверх по оси  $z$ ).

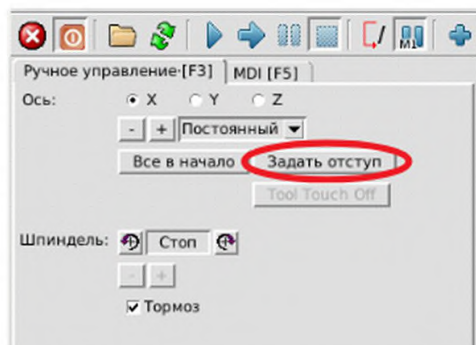


4.4. Перейдите во вкладку «Ручное управление».

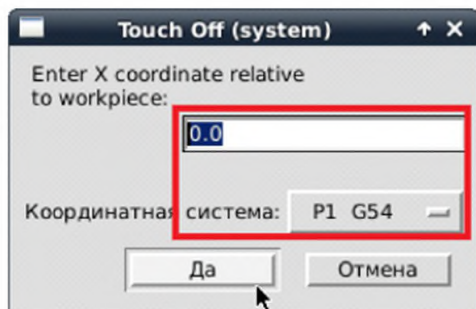


4.5. Выберите все значения осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , нажимая на соответствующие кнопки по очереди, и присвойте им значение «0» с помощью кнопки *Задать отступ*.

Если вы все правильно сделали, то во всех строках должен появиться 0.0000.

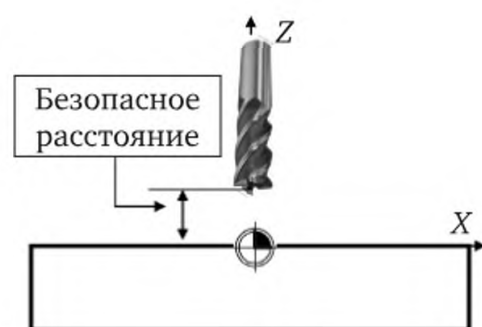


4.6. Во всплывающем окне выберите величину отступа. На рисунке величина выбирается для точки, заданной кодом G54.





4.7. Приподнимите фрезу на безопасное расстояние с помощью кнопки на клавиатуре **Page Up**.



5. Запрограммируйте и выполните обработку наружного контура детали.

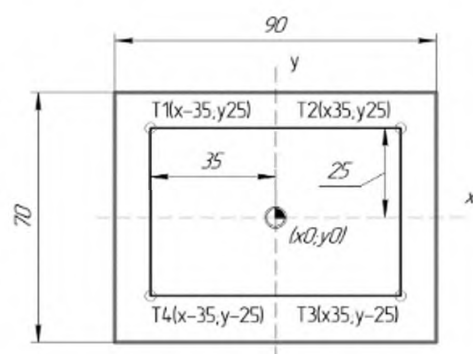
Обработка наружного контура детали

5.1. На рабочем столе создайте папку «Программы», в которой будут храниться все ваши программы.

На рабочем столе компьютера — папку «Программы»

5.2. Проанализируйте конструкцию детали и выберите точку начала обработки. В нашем случае это будет точка T1 с координатами X 35, Y 25.

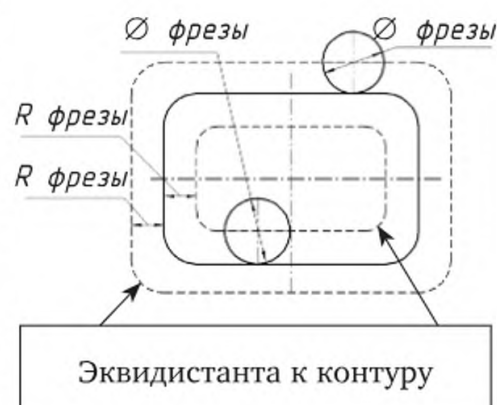
Высота обрабатываемого контура — 25 мм.



5.3. При выборе траектории обработки учтите, что ось совпадает с осью фрезы, следовательно, нужно будет учесть радиус фрезы при построении траектории перемещения.

Линия, по которой происходит перемещение фрезы, называется эквидистанта.

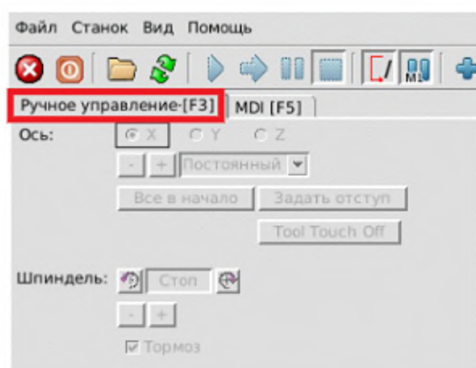
Эквидистанта расположена на расстоянии  $R$  от обрабатываемого контура, где  $R$  — радиус фрезы.



5.4. Напишите в редакторе «Блокнот» на компьютере следующую программу для обработки наружного контура детали по эквидистанте).

Кадр	Расшифровка кадра
T1	Выбор инструмента № 1. Например ФРЕЗА Ø 10 мм. Радиус фрезы — 5 мм
G90 G54 G17	Абсолютный отсчет координат, выбор нулевой точки заготовки, выбор плоскости программирования YOX
G97 S300 M3	Задание постоянного числа оборотов шпинделя, число оборотов шпинделя $S = 300$ об/мин, направление вращения шпинделя — по часовой стрелке
G0 X-45 Y30 Z2	Ускоренное перемещение инструмента в точку с координатами X-45, Y30 Z2
G0 Z-5	Ускоренное перемещение инструмента в точку с координатами X-45, Y30 Z-5 (координаты X и Y не меняются в сравнении с предыдущим кадром)
G1 X40 Y30 F40	Рабочее перемещение инструмента в точку с координатами X40 Y30 с подачей $F = 40$ мм/мин. Обработка первой прямой контура
X40 Y-30	Рабочее перемещение инструмента в точку с координатами X40 Y-30 с подачей $F = 40$ мм/мин (величина подачи не изменяется по сравнению с предыдущим кадром). Обработка второй прямой контура
X-40 Y-30	Рабочее перемещение инструмента в точку с координатами X-40 Y-30 с подачей $F = 40$ мм/мин (величина подачи не изменяется по сравнению с предыдущим кадром). Обработка третьей прямой контура
X-40 Y30	Рабочее перемещение инструмента в точку с координатами X-40 Y30 с подачей $F = 40$ мм/мин (величина подачи не изменяется по сравнению с предыдущим кадром). Обработка четвертой прямой контура
G0 Z2	Ускоренное перемещение инструмента в точку с координатами X-40, Y30 Z2 (координаты X и Y не меняются в сравнении с предыдущим кадром).
M5	Останов вращения шпинделя
M30	Конец программы, переход в начало программы

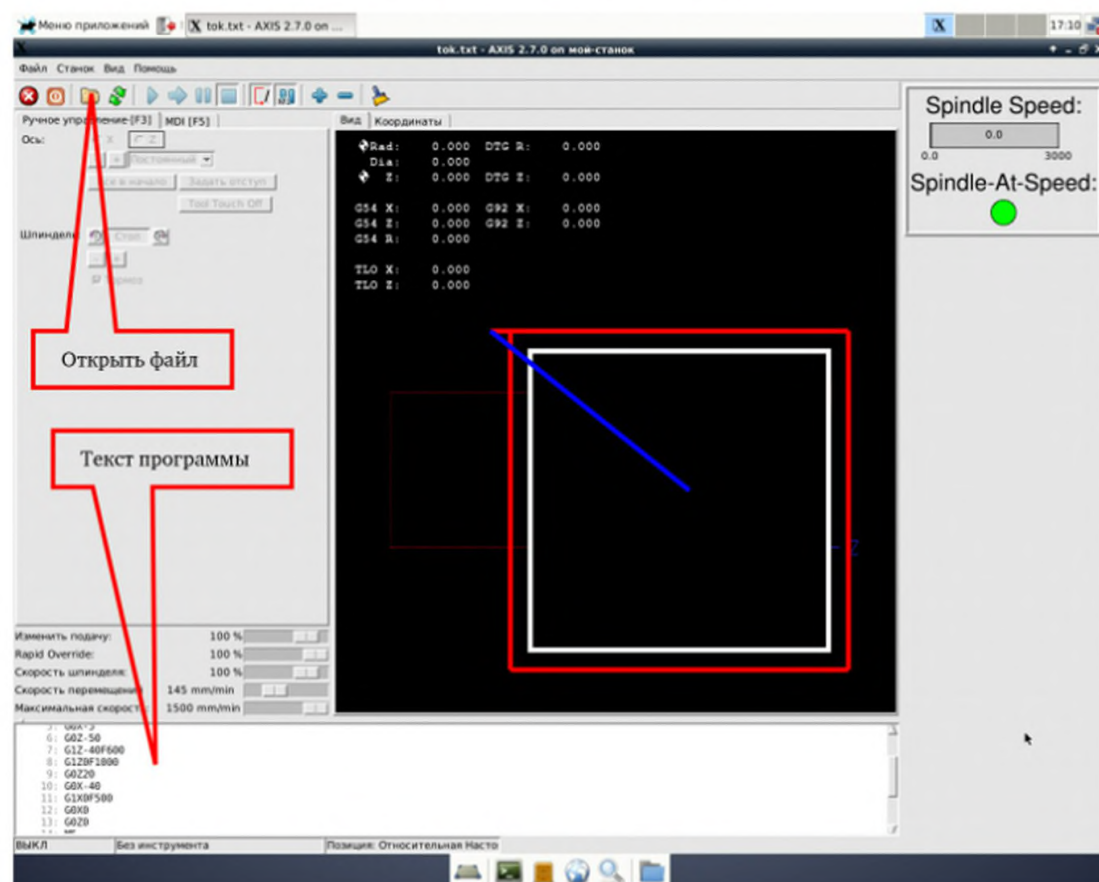
5.5. Вернитесь во вкладку Ручное управление.



5.6. Для загрузки программы нажмите кнопку «Открыть файл» и выберите программу «Прямая». Во всплывающем окне необходимо выбрать «Все файлы» во вкладке Тип файлов.



В рабочем поле появится текст программы.

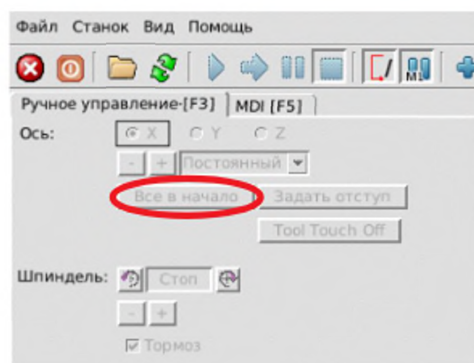


5.7. Убедитесь, что защитное стекло опущено и запустите программу (кнопка «Начать выполнение»).



Начать выполнение

5.8. После завершения отработки программы разгоните станок в ноль, нажав кнопку «Все в начало».



### 5.1.3. Программирование круговых перемещений

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:  
— программировать круговые перемещения и обрабатывать управляющую программу.

Программирование фрезерной обработки круговых поверхностей на станке с ЧПУ в системе Linux CNC производится в следующей последовательности:

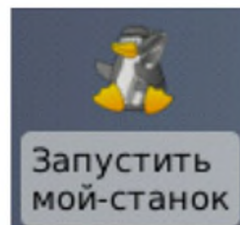
Программирование  
линейных перемещений

1. Включите станок.

Включите станок



2. Откройте программное обеспечение Linux CNC.

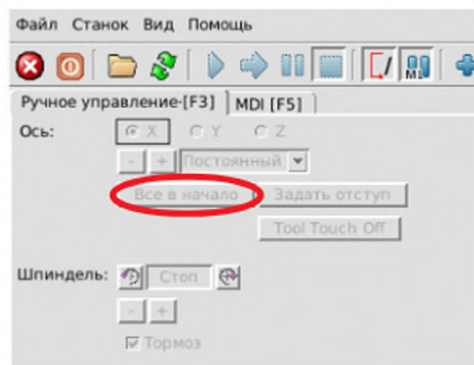


3. Выведите рабочие органы станка в ноль (разгон станка в ноль). Для того, чтобы разогнать станок в ноль, выполните следующие действия:

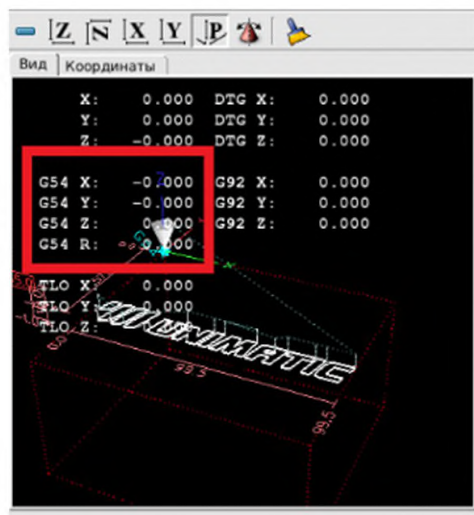
Разгоните станок  
в ноль по осям



3.1. Нажмите кнопку *Все в начало*. При этом станок автоматически сместит рабочее поле и встанет в «ноль станка».




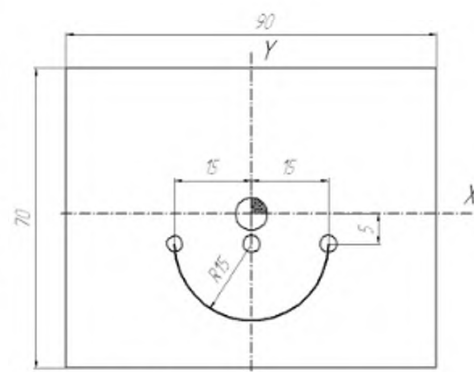
3.4. Дождитесь окончания движения, после этого проверьте все значения осей X, Y, Z в поле.



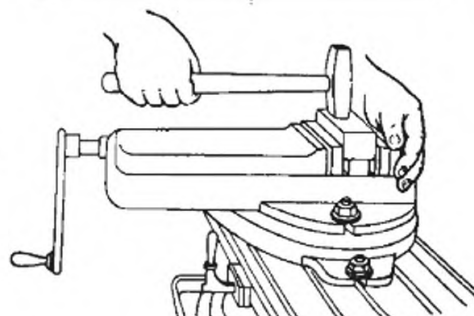
4. **Привязка ноля заготовки.** Чтобы привязать ноль заготовки, выполните следующие действия:

Привяжите заготовку по осям X, Y и Z

4.1. Проанализируйте чертеж детали и выберите положение нулевой точки. Поскольку деталь симметрична, то на чертеже выбрана нулевая точка в центре (в точке пересечения осей X и Y). Нулевая точка обозначена символом .

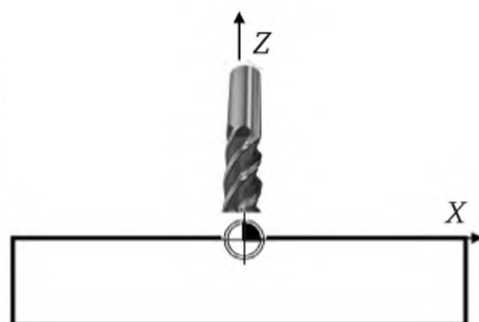


4.2. Закрепите заготовку в станке в ручном режиме.

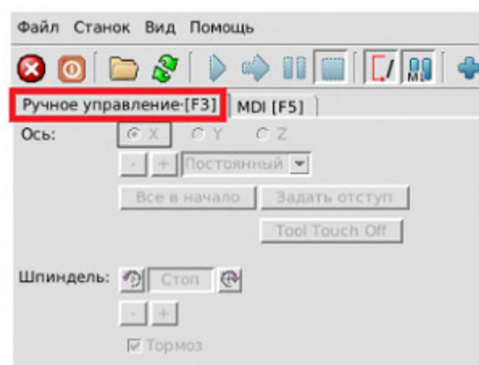




4.3. Подведите фрезу к нулевой точке заготовки с помощью кнопок на клавиатуре ← (влево по оси  $x$ ) → (вправо по оси  $x$ ) ↑ (на себя по оси  $y$ ) ↓ (от себя по оси  $y$ ) и – (вниз по оси  $z$ ) + (вверх по оси  $z$ ).

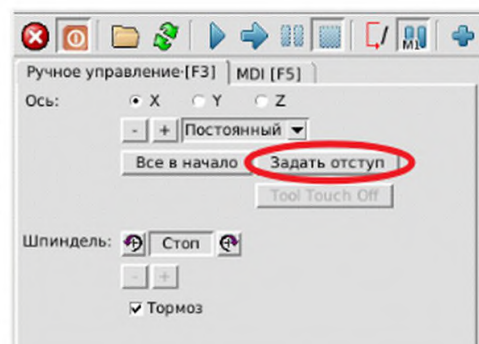


4.4. Перейдите во вкладку «Ручное управление».

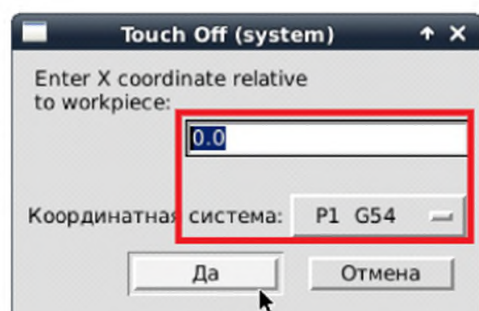


4.5. Выберите все значения осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , нажимая на соответствующие кнопки по очереди, и присвойте им значение «0» с помощью кнопки *Задать отступ*.

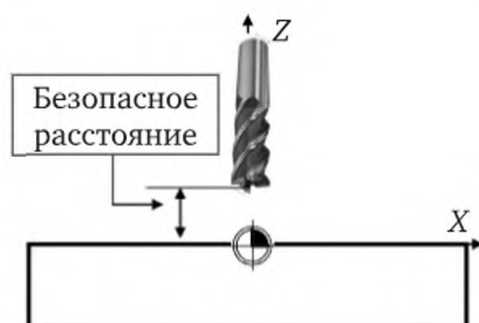
Если вы все правильно сделали, то во всех строках должен появиться 0.0000.



4.6. Во всплывающем окне выберите величину отступа. На рисунке величина выбирается для точки, заданной кодом G54.



4.7. Приподнимите фрезу на безопасное расстояние с помощью кнопки на клавиатуре **Page Up**.



**5. Запрограммируйте и выполните обработку контура дуги детали.**

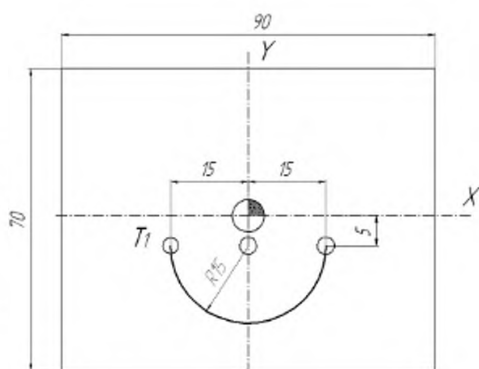
Обработка контура дуги детали

5.1. На рабочем столе создайте папку «Программы», в которой будут храниться все ваши программы.

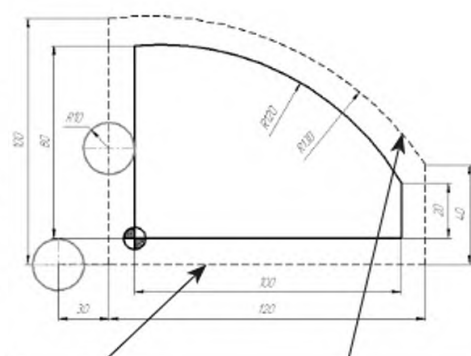
На рабочем столе компьютера создайте папку «Программы»

5.2. Проанализируйте конструкцию детали и выберите точку начала обработки. В нашем случае это будет точка T1 с координатами X-15, Y-5.

Глубина фрезерованной дуги составит 2 мм.

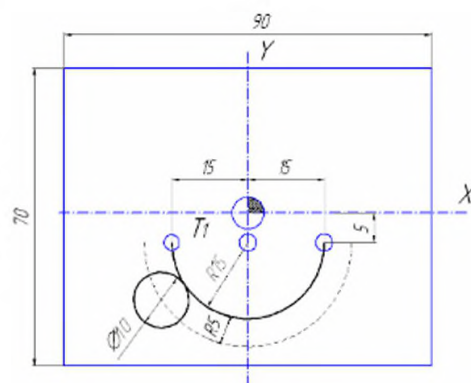


5.3. При выборе траектории обработки учтите, что ось совпадает с осью фрезы, следовательно, при обработке наружного контура по дуге следует учитывать радиус фрезы при построении траектории перемещения по эквидистанте к контуру.

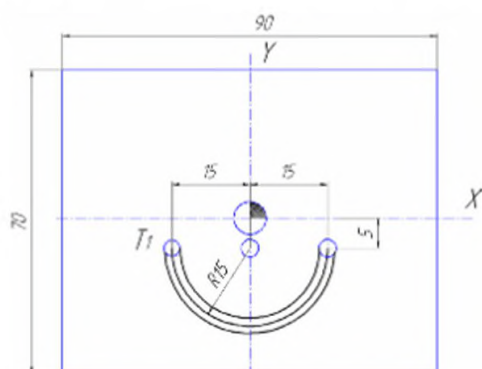


Эквидистанта к контуру

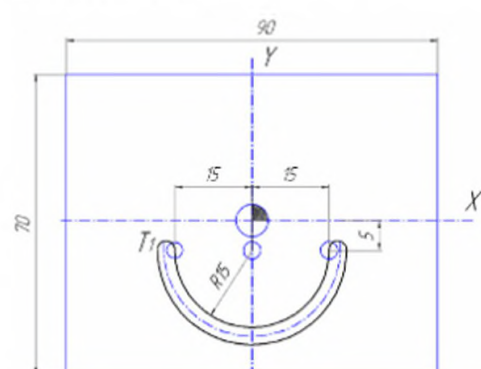
5.4. В случае обработки нашей детали фрезой диаметром 10 мм эквидистанта к контуру будет расположена на расстоянии 10 мм от контура детали.



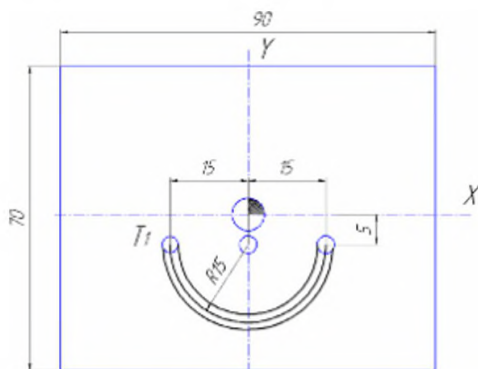
5.5. При перемещении фрезы без эквидистанты мы получим дугообразный паз следующего вида:



5.6. При перемещении фрезы по эквидистанте к внешнему контуру дуги мы получим дугообразный паз.



5.7. Учитывая, что для нашей детали дугообразный паз будет расположен так, как описано в п. 5.6, эквидистанту дуги задавать не следует.



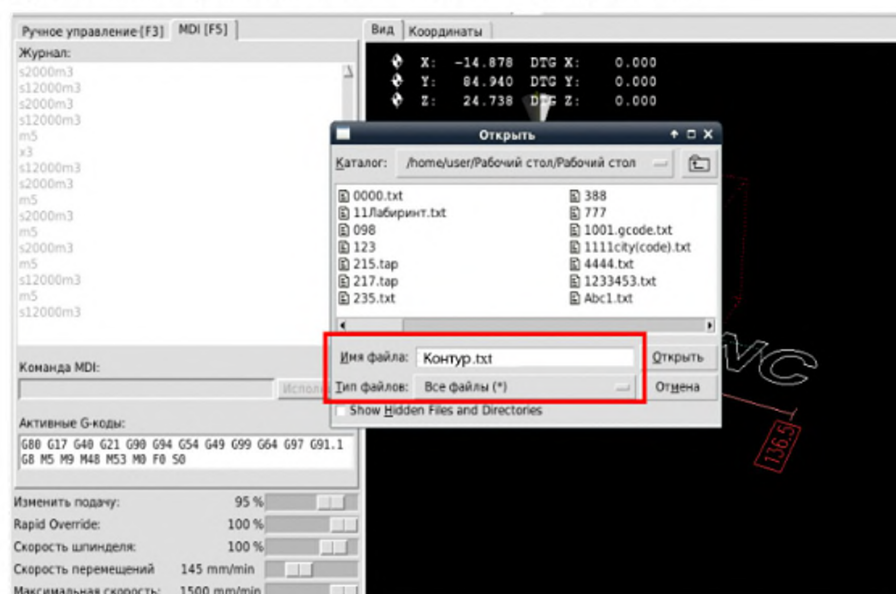
5.8. Напишите в редакторе «Блокнот» на компьютере следующую программу для обработки дуги без эквидистанты:

Кадр	Расшифровка кадра
T1	Выбор инструмента № 1. Например ФРЕЗА Ø10 мм. Радиус фрезы — 5 мм
G90 G54 G17	Абсолютный отсчет координат, выбор нулевой точки заготовки, выбор плоскости программирования YOX
G97 S300 M3	Задание постоянного числа оборотов шпинделя, число оборотов шпинделя $S = 300$ об/мин, направление вращения шпинделя — по часовой стрелке
G0 X-15 Y-5 Z2	Ускоренное перемещение инструмента в точку с координатами X-15, Y-5 Z2
G1 Z-2 F40	Врезание инструмента с вертикальной рабочей подачей по оси Z на глубину 2 мм. Величина подачи — 40 мм/мин
G3 X15 Y-5 R15 F40	Рабочее перемещение инструмента по дуге (круговая интерполяция) против часовой стрелки в точку с координатами X15 Y-5 с подачей $F = 40$ мм/мин

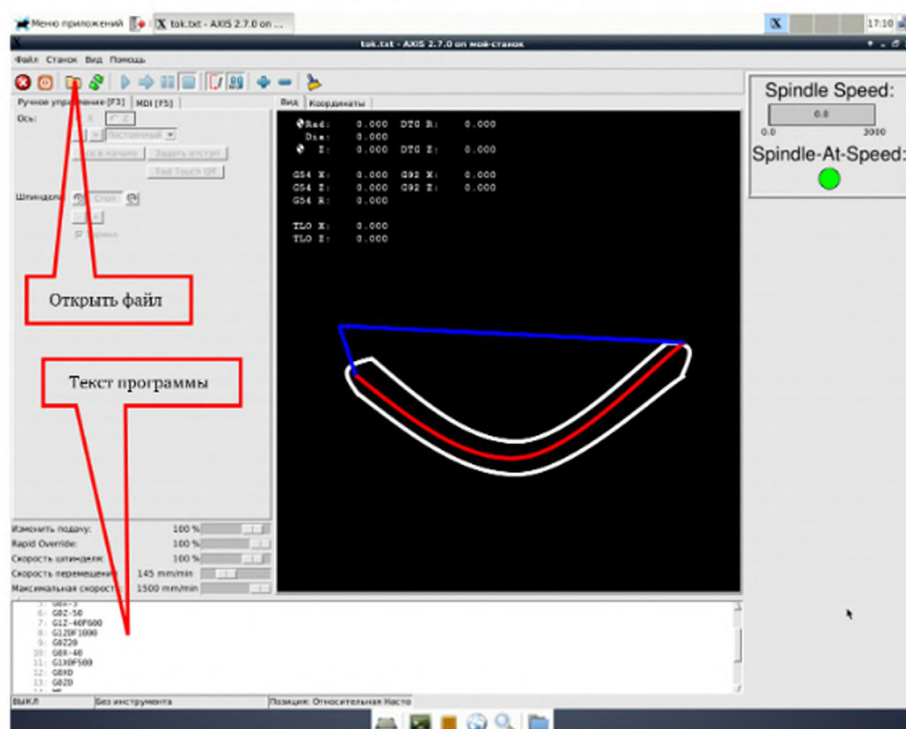


Кадр	Расшифровка кадра
G0 Z2	Ускоренный отвод инструмента по оси Z в точку с координатами X15 Y-5 Z2 (координаты X и Y не изменяются)
M5	Останов вращения шпинделя
M30	Конец программы, переход в начало программы

5.9. Для загрузки программы нажмите кнопку «Открыть файл» и выберите программу «Контур». Во всплывающем окне необходимо выбрать «Все файлы» во вкладке Тип файлов.



В рабочем поле появится текст программы.

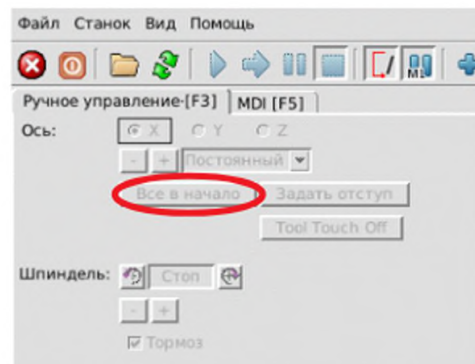


5.10. Убедитесь, что защитное стекло опущено, и запустите программу (кнопка «Начать выполнение»).



Начать выполнение

5.11. После завершения обработки программы разгоните станок в ноль, нажав кнопку *Все в начало*.

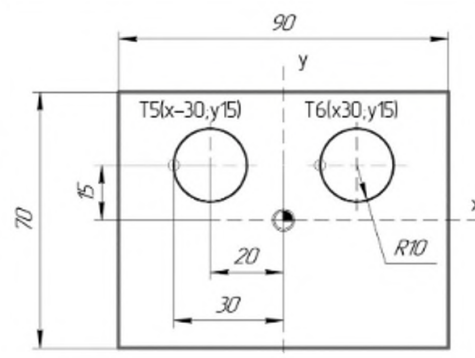


**6. Запрограммируйте и выполните обработку двух окружностей на детали.**

Обработка двух окружностей на детали

6.1. Проанализируйте конструкцию детали и выберите точки центров окружностей. В нашем случае это будет точка T5 с координатами X-30, Y15 и точка T6 с координатами X30, Y15.

Глубина фрезеруемых окружностей — 2 мм.



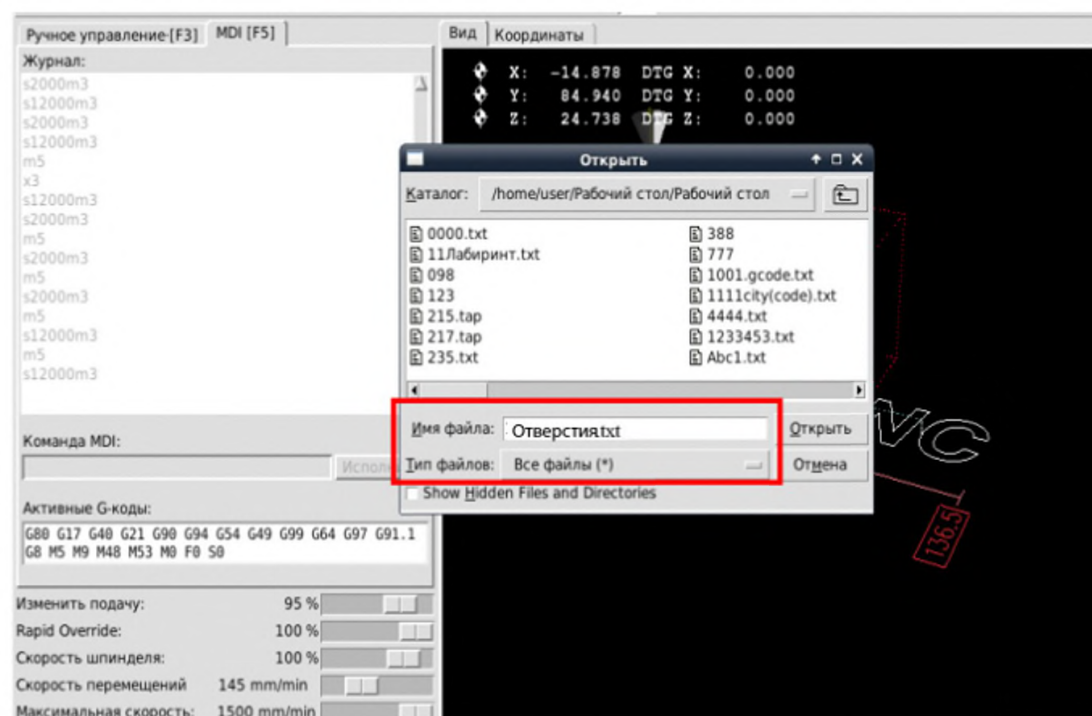
6.2. Напишите в редакторе «Блокнот» на компьютере следующую программу для обработки двух окружностей на детали.

Кадр	Расшифровка кадра
T1	Выбор инструмента № 1. Например ФРЕЗА Ø12 мм. Радиус фрезы — 6 мм
G90 G54 G17	Абсолютный отсчет координат, выбор нулевой точки заготовки, выбор плоскости программирования YOX
G97 S300 M3	Задание постоянного числа оборотов шпинделя, число оборотов шпинделя $S = 300$ об/мин, направление вращения шпинделя — по часовой стрелке
G0 X-24 Y15 Z2	Ускоренное перемещение инструмента в точку с координатами X-24, Y15, Z2
G1 Z-2 F40	Врезание инструмента с вертикальной рабочей подачей по оси Z на глубину 2 мм. Величина подачи — 40 мм/мин

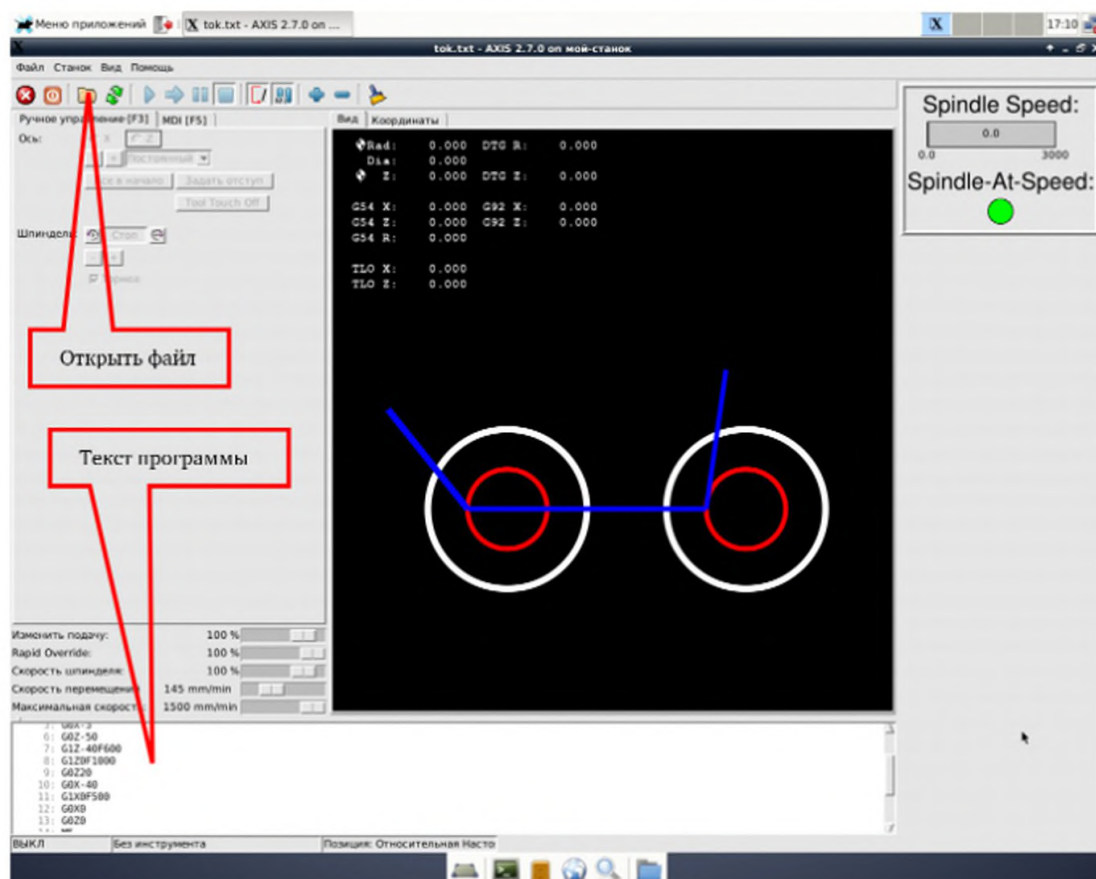


Кадр	Расшифровка кадра
G2 I-20 J15 R10	Рабочее перемещение инструмента по дуге (круговая интерполяция) по часовой стрелке. Формирование окружности с центром в точке с координатами I-20 J10 (координата I-20 = X-20, координата J15 = Y15 для центра окружности). Радиус формируемой окружности — 10 мм. Подача остается $F = 40$ мм/мин
G0 Z2	Ускоренный отвод инструмента по оси Z в точку с координатами X-24 Y15 Z2 (координаты X и Y не изменяются)
G0 X24 Y15 Z2	Ускоренное перемещение инструмента в точку с координатами X24, Y15, Z2
G1 Z-2 F40	Врезание инструмента с вертикальной рабочей подачей по оси Z на глубину 2 мм. Величина подачи — 40 мм/мин
G2 I20 J15 R10	Рабочее перемещение инструмента по дуге (круговая интерполяция) по часовой стрелке. Формирование окружности с центром в точке с координатами I20 J10 (координата I20 = X20, координата J10 = Y10 для центра окружности). Радиус формируемой окружности — 10 мм. Подача остается $F = 40$ мм/мин
G0 Z2	Ускоренный отвод инструмента по оси Z в точку с координатами X24 Y-15 Z2 (координаты X и Y не изменяются)
M5	Останов вращения шпинделя
M30	Конец программы, переход в начало программы

6.3. Для загрузки программы нажмите кнопку *Открыть файл* и выберите программу «Отверстия». Во всплывающем окне необходимо выбрать «Все файлы» во вкладке *Тип файлов*.



В рабочем поле появится текст программы.

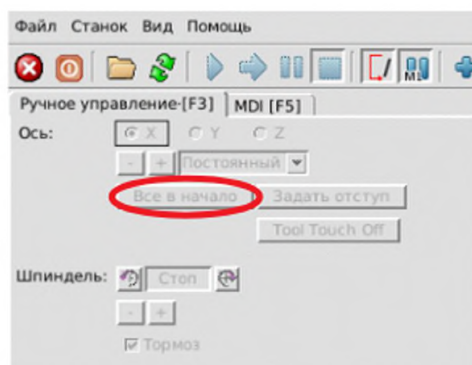


6.4. Убедитесь, что защитное стекло опущено и запустите программу (кнопка *Начать выполнение*).



Начать выполнение

6.5. После завершения отработки программы разгоните станок в ноль, нажав кнопку *Все в начало*.



#### 5.1.4. Программирование сверления отверстий

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

— программировать сверление отверстий в детали и отрабатывать управляющую программу.

Программирование сверления отверстий в детали на станке с ЧПУ в системе Linux CNC производится в следующей последовательности:

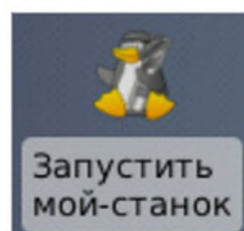
**1. Включите станок.**

**Программирование  
сверления отверстий  
в детали**

Включите станок



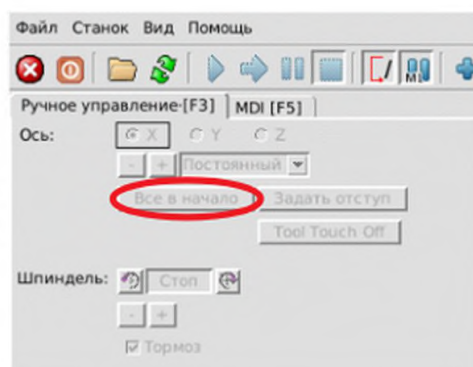
**2. Откройте программное обеспечение Linux CNC.**



**3. Выведите рабочие органы станка в ноль (разгон станка в ноль).**

Разгоните станок  
в ноль по осям

Для того, чтобы разогнать станок в ноль по осям, выполните действия с 3.1 по 3.4. предыдущего учебного элемента (см. подп. 5.1.2).




**4. Привязка ноля заготовки.**  
Для того, чтобы привязать ноль заготовки, выполните следующие действия:

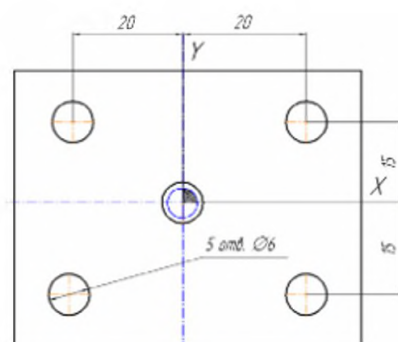
Привяжите заготовку  
по осям X, Y и Z

4.1. Установите в шпиндель станка сверло диаметром 6 мм. Для этого возьмите два ключа на 17 и на 13. Ключом на 13 зафиксируйте от прокручивания ось шпинделя и открутите зажимную гайку цанги. Вставьте в цангу сверло диаметром 6 мм. Отрегулируйте высоту сверла и снова закрутите гайку.

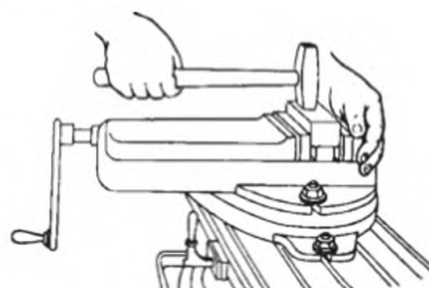




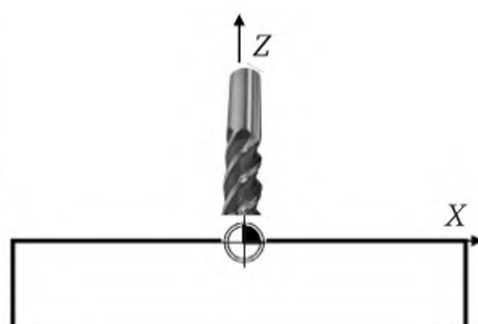
4.2. Проанализируйте чертеж детали и выберите положение нулевой точки. Поскольку деталь симметрична, то на чертеже выбрана нулевая точка в центре (в точке пересечения осей  $X$  и  $Y$ ). Нулевая точка обозначена символом .



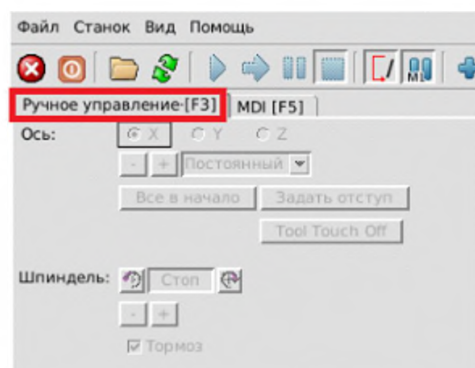
4.3. Закрепите заготовку в станке в ручном режиме.



4.4. Подведите сверло к нулевой точке заготовки с помощью кнопок на клавиатуре  $\leftarrow$  (влево по оси  $x$ )  $\rightarrow$  (вправо по оси  $x$ )  $\uparrow$  (на себя по оси  $y$ )  $\downarrow$  (от себя по оси  $y$ ) и  $-$  (вниз по оси  $z$ )  $+$  (вверх по оси  $z$ ).

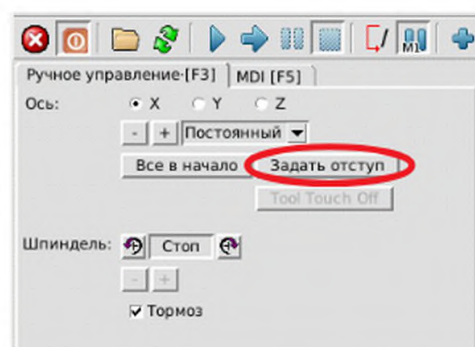


4.5. Перейдите во вкладку «Ручное управление».

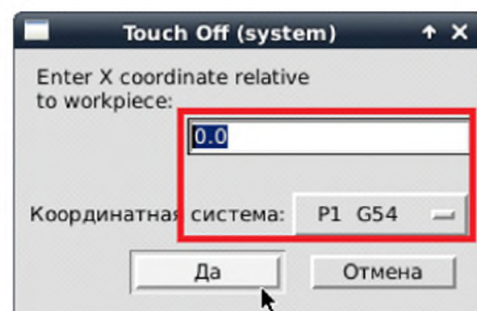


4.6. Выберите все значения осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , нажимая на соответствующие кнопки по очереди, и присвойте им значение «0» с помощью кнопки *Задать отступ*.

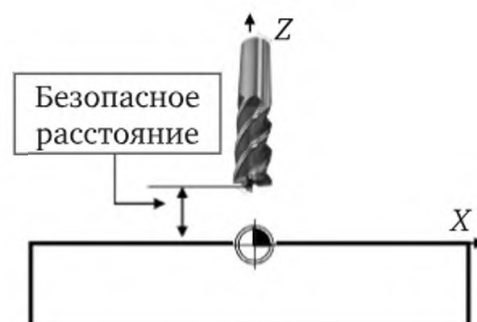
Если вы все правильно сделали, то во всех строках должен появиться 0.0000.



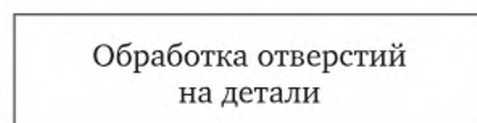
4.7. Во всплывающем окне выберите величину отступа. На рисунке величина выбирается для точки, заданной кодом G54.



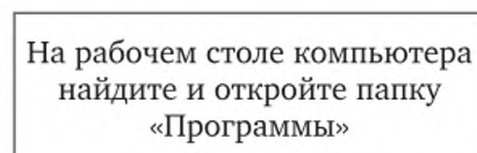
4.8. Приподнимите сверло на безопасное расстояние с помощью кнопки на клавиатуре **Page Up**.



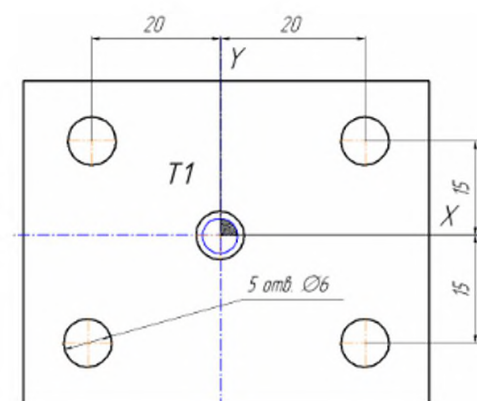
5. Запрограммируйте и выполните обработку пяти отверстий диаметром 6 мм и глубиной 18 мм на детали.



5.1. На рабочем столе найдите и откройте папку «Программы», в которой будет храниться файл разрабатываемой программы.



5.2. Проанализируйте конструкцию детали и выберите точку начала обработки. В нашем случае это будет точка T1 с координатами X0, Y0.





5.3. Операция сверления программируется с использованием стандартного цикла сверления, задаваемого кодом G81, а отменяется кодом G80.

**G81**  
задание стандартного цикла сверления  
**G80**  
отмена стандартного цикла сверления

5.4. Код G81 позволяет запрограммировать сверление нескольких отверстий, с указанием координат каждого отверстия (X и Y), глубины сверления (Z) и высоты безопасного подъема сверла над обрабатываемой поверхностью (R).

**G0 X0 Y0**  
**G81 Z-18 R5 F120**

X0 Y0 — координаты 1-го отверстия

R5 — величина отвода

z-18 — глубина сверления

F120 — рабочая подача

5.5. Координаты каждого следующего отверстия, после координат отверстия, заданного перед циклом, записываются отдельным кадром.

По окончании сверления последнего отверстия обязательно пишется команда G80 для отмены команды сверления.

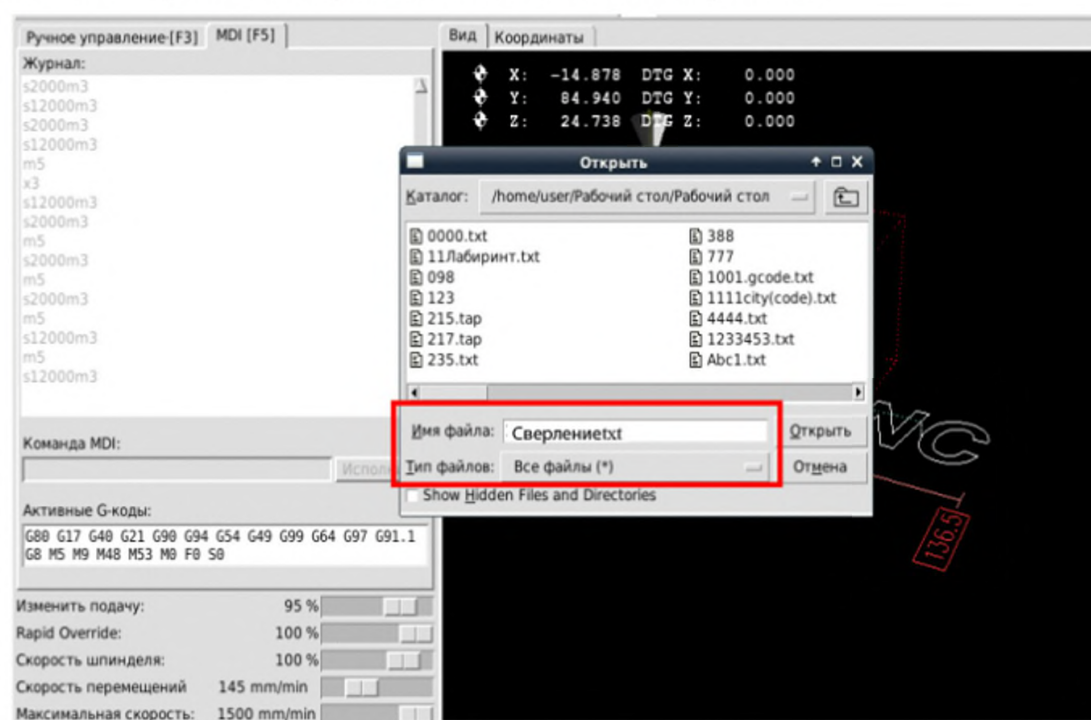
G81 Z-18 R5 F120  
X0 Y-20  
X0 Y20  
X10 Y30  
G80

5.4. Напишите в редакторе «Блокнот» на компьютере следующую программу для сверления пяти отверстий на детали.

Кадр	Расшифровка кадра
T1	Выбор инструмента № 1. Например СВЕРЛО Ø 6 мм. Радиус сверла — 3 мм
G90 G54 G17	Абсолютный отсчет координат, выбор нулевой точки заготовки, выбор плоскости программирования YOX
G97 S300 M3	Задание постоянного числа оборотов шпинделя, число оборотов шпинделя $S = 300$ об/мин, направление вращения шпинделя — по часовой стрелке
G0 X0 Y0 Z5	Ускоренное перемещение инструмента в точку с координатами X0, Y0, Z5

Кадр	Расшифровка кадра
G81 Z-18 R5 F80	Задание цикла сверления отверстий. Глубина отверстий — 18 мм. Отвод после сверления производится в плоскость, отстоящую на 5 мм от поверхности детали, рабочая подача $F = 80$ мм/мин. Производится сверление первого отверстия с центром в точке с координатами X0 Y0
X-20 Y15	Производится сверление второго отверстия с центром в точке с координатами X-20 Y15
X20 Y15	Производится сверление третьего отверстия с центром в точке с координатами X20 Y15
X20 Y-15	Производится сверление четвертого отверстия с центром в точке с координатами X20 Y-15
X-20 Y-15	Производится сверление пятого отверстия с центром в точке с координатами X-20 Y-15
G80	Отмена цикла сверления
G0 Z8	Ускоренный отвод инструмента по оси Z в точку с координатами X-20 Y-15 Z8 (координаты X и Y не изменяются)
M5	Останов вращения шпинделя
M30	Конец программы, переход в начало программы

5.5. Для загрузки программы нажмите кнопку *Открыть файл* и выберите программу «Сверление». Во всплывающем окне необходимо выбрать «Все файлы» во вкладке *Тип файлов*.



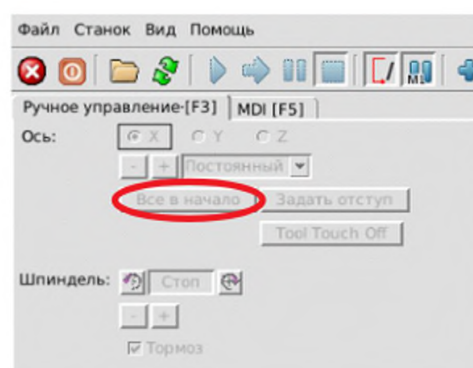
В рабочем поле появится текст программы.

5.6. Убедитесь, что защитное стекло опущено и запустите программу (кнопка *Начать выполнение*).



Начать выполнение

5.7. После завершения отработки программы разгоните станок в ноль, нажав кнопку *Все в начало*.



### 5.1.5. Программирование обработки пазов на детали

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

— программировать обработку пазов на детали и отрабатывать управляющую программу.

Программирование обработки пазов на детали на станке с ЧПУ в системе Linux CNC производится в следующей последовательности:

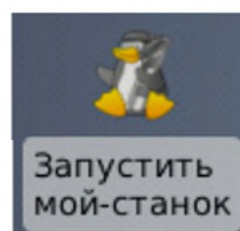
1. Включите станок.

Программирование  
обработки пазов на детали

Включите станок



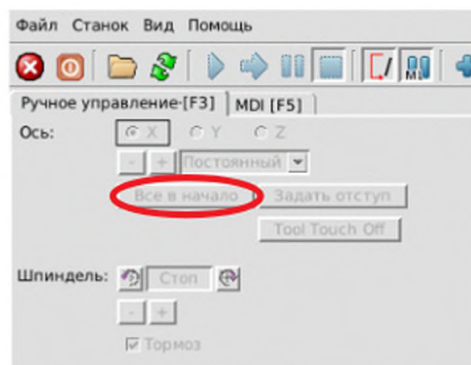
2. Откройте программное обеспечение Linux CNC.



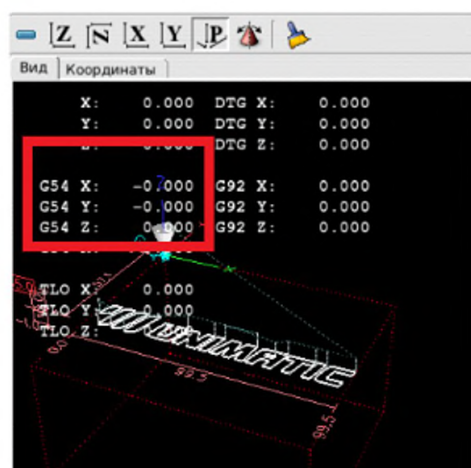
3. Выведите рабочие органы станка в ноль (разгон станка в ноль). Для того, чтобы разогнать станок в ноль выполните следующие действия:

Разгоните станок  
в ноль по осям

3.1. Нажмите кнопку *Все в начало*. При этом станок автоматически сместит рабочее поле и встанет в «ноль станка».



3.4. Дождитесь окончания движения, после этого проверьте все значения осей X, Y, Z в поле.

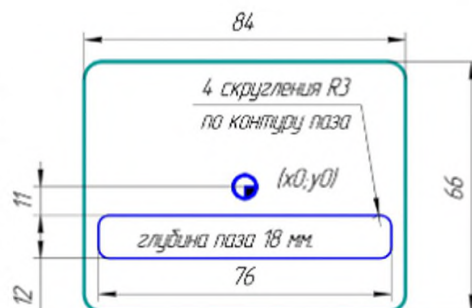




4. Привязка ноля заготовки.  
Чтобы привязать ноль заготовки, выполните следующие действия.

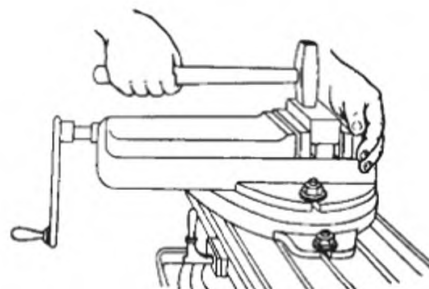
4.1. Проанализируйте чертеж детали и выберите положение нулевой точки. Поскольку деталь симметрична, то на чертеже выбрана нулевая точка в центре (в точке пересечения осей  $X$  и  $Y$ ). Нулевая точка обозначена символом

Привяжите заготовку по осям  $X$ ,  $Y$  и  $Z$

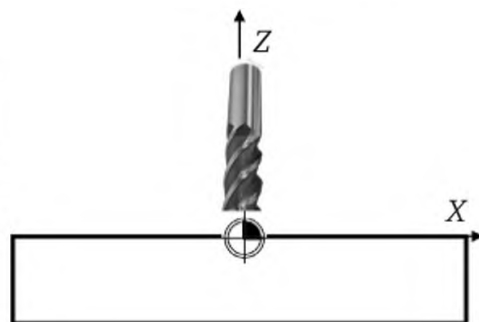


Глубина паза = 9 мм

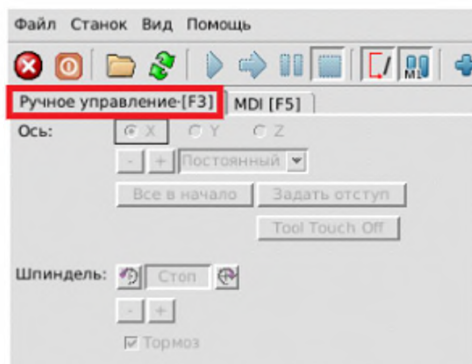
4.3. Закрепите заготовку в станке в ручном режиме.



4.3. Подведите фрезу к нулевой точке заготовки с помощью кнопок на клавиатуре  $\leftarrow$  (влево по оси  $x$ )  $\rightarrow$  (вправо по оси  $x$ )  $\uparrow$  (на себя по оси  $y$ )  $\downarrow$  (от себя по оси  $y$ ) и  $-$  (вниз по оси  $z$ )  $+$  (вверх по оси  $z$ ).



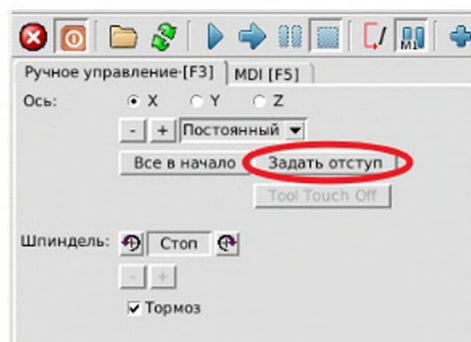
4.4. Перейдите во вкладку Ручное управление.



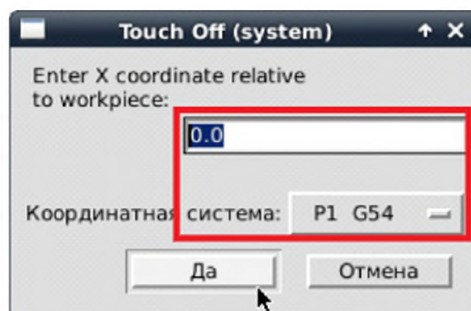


4.5. Выберите все значения осей X, Y, Z, нажимая на соответствующие кнопки по очереди, и присвойте им значение 0 с помощью кнопки *Задать отступ*.

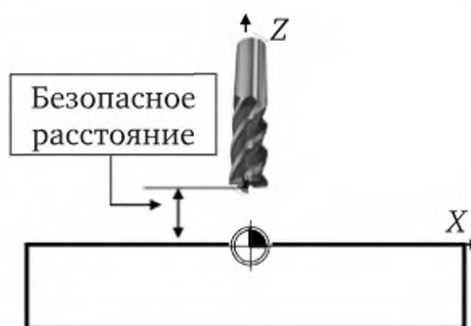
Если вы все правильно сделали, то во всех строках должен появиться 0.0000.



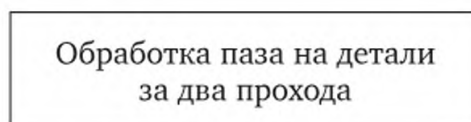
4.6. Во всплывающем окне выберите величину отступа. На рисунке величина выбирается для точки, заданной кодом G54.



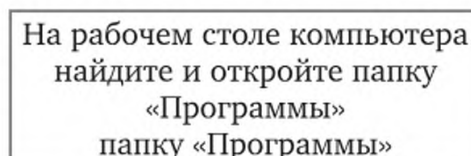
4.7. Приподнимите фрезу на безопасное расстояние с помощью кнопки на клавиатуре **Page Up**.



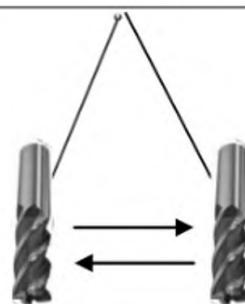
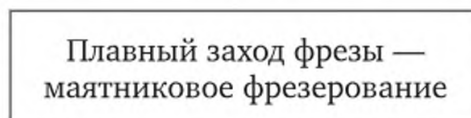
5. Запрограммируйте и выполните обработку паза на детали за два прохода.



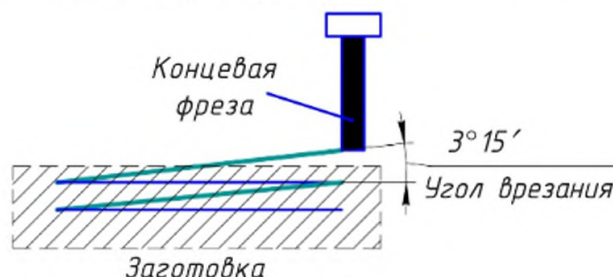
5.1. На рабочем столе найдите и откройте папку «Программы», в которой будет храниться файл разрабатываемой программы.



5.2. При фрезеровании паза необходимо обеспечить плавный заход фрезы в материал детали. Плавный заход фрезы можно выполнить по методу маятникового фрезерования. При этом фреза сначала плавно погружается в материал, перемещаясь по осям X и Z, затем возвращается в начало только по оси X, выравнивая плоскость.



5.3. При маятниковом методе инструмент плавно врезается в материал под углом. Чем меньше угол, тем безопаснее происходит процесс врезания. Фреза одновременно перемещается в двух направлениях: по оси Z и по оси X. За один проход происходит погружение на 3 мм. Так как необходимо углубиться на 9 мм, то сделать это можно за несколько проходов.

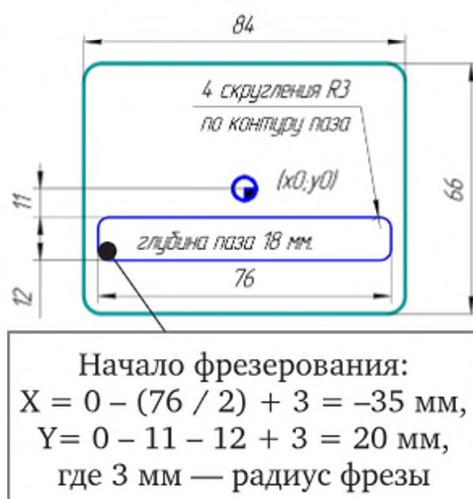


5.4. Проанализируйте конструкцию детали и выберите точку начала обработки. В нашем случае это будет точка с координатами X-35, Y-20.

Учитывая, что ширина паза составляет 12 мм, необходимо будет сделать по два прохода на каждой глубине фрезерования.

Глубина паза составляет 9 мм.

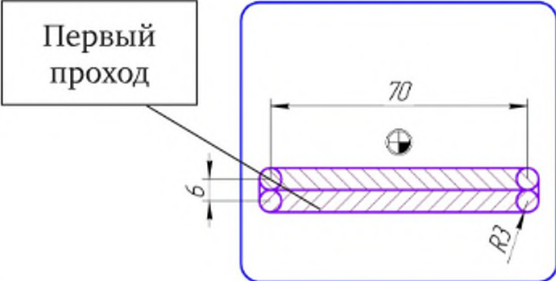
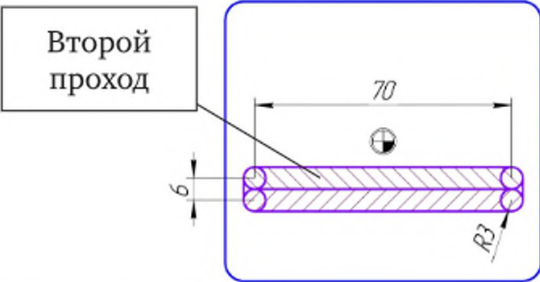
Радиус округлений паза должен быть меньше радиуса фрезы или равен ему.



5.5. Напишите в редакторе «Блокнот» на компьютере следующую программу для обработки паза на детали.

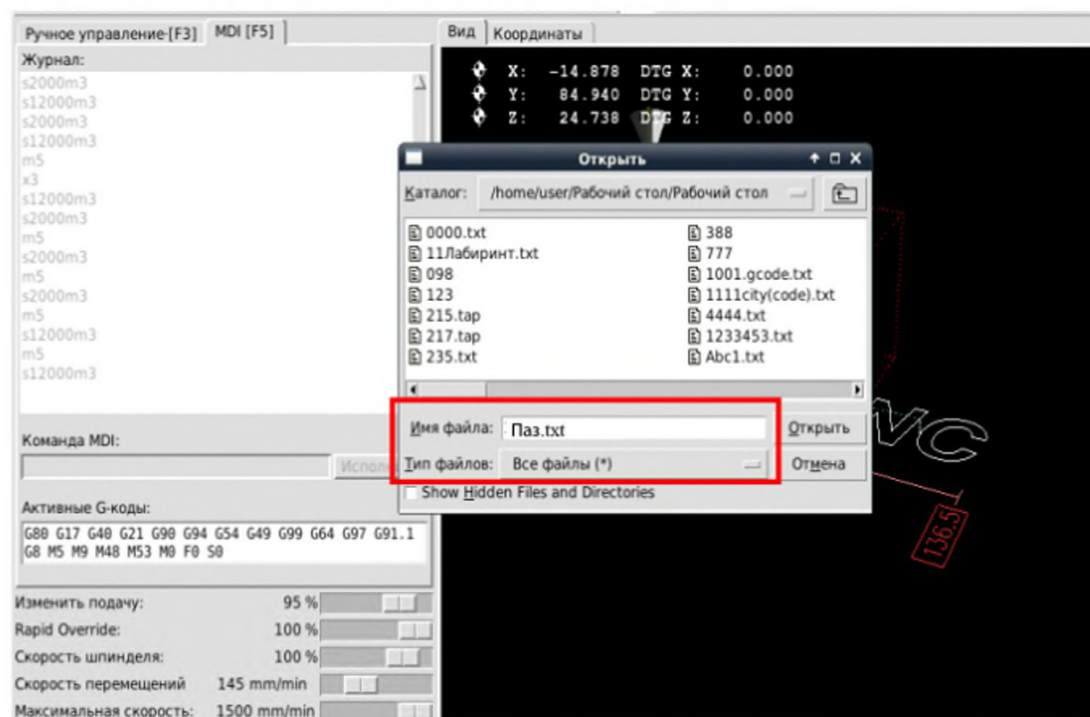
Кадр	Расшифровка кадра
T1	Выбор инструмента № 1. Например ФРЕЗА Ø 6 мм. Радиус фрезы — 3 мм
G90 G54 G17	Абсолютный отсчет координат, выбор нулевой точки заготовки, выбор плоскости программирования YOX
G97 S300 M3	Задание постоянного числа оборотов шпинделя, число оборотов шпинделя $S = 300$ об/мин, направление вращения шпинделя — по часовой стрелке
G0 X-35 Y-20 Z2	Ускоренное перемещение инструмента в точку с координатами X-35, Y-20, Z2
G1 Z0 F40	Рабочий подвод инструмента с вертикальной рабочей подачей по оси Z к поверхности детали. Величина подачи — 40 мм/мин



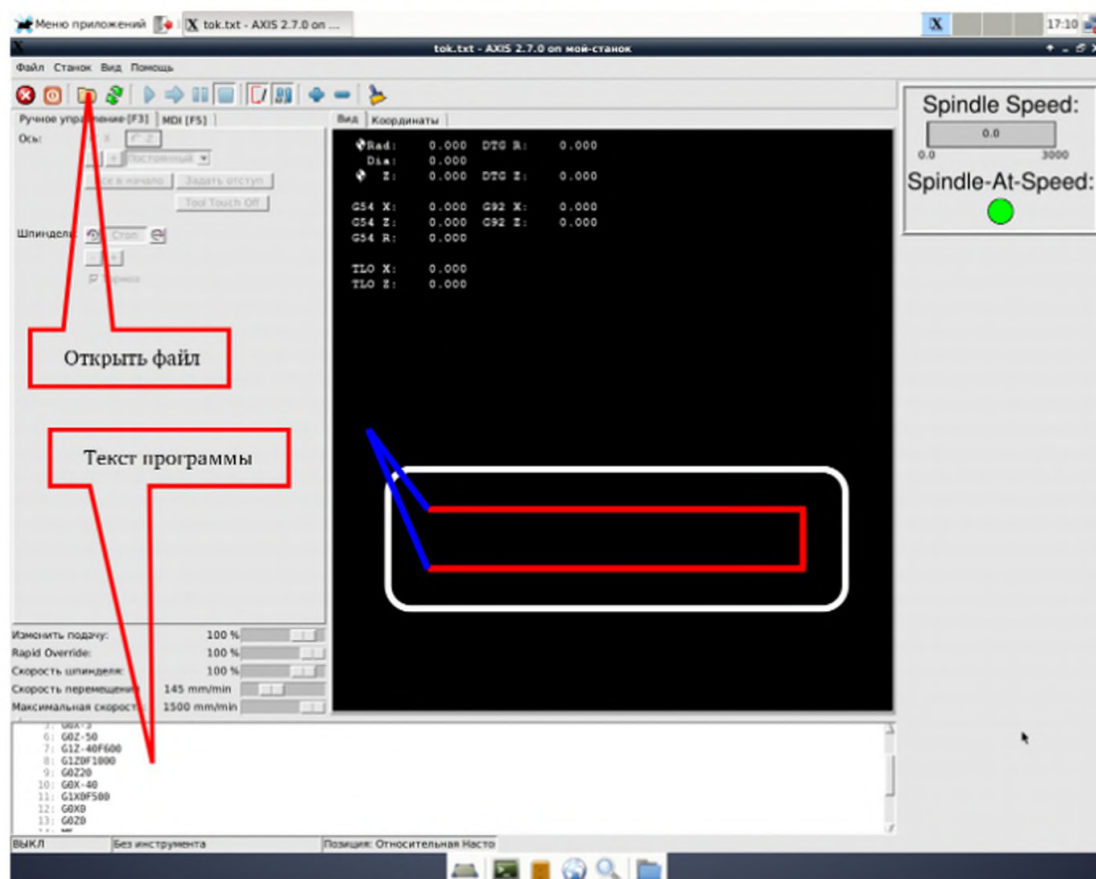
Кадр	Расшифровка кадра
X35 Y-20 Z-3	<p>Рабочее перемещение инструмента по линии одновременно по осям <math>X</math> и <math>Z</math>. Координата по оси <math>Y</math> не изменяется. Происходит маятниковое врезание на глубину 3 мм. Подача остается <math>F = 40</math> мм/мин. Выполняется первый проход</p> 
X-35	<p>Рабочее перемещение инструмента по линии только по оси <math>X</math>. Координаты осей <math>Z</math> и <math>Y</math> не изменяются. Происходит выравнивание плоскости на глубине 3 мм. Подача остается <math>F = 40</math> мм/мин</p>
G0 Z2	<p>Ускоренный отвод инструмента по оси <math>Z</math> в точку с координатами X-35 Y-20 Z1 (координаты <math>X</math> и <math>Y</math> не изменяются)</p>
G1 X-35 Y-14 Z0 F40	<p>Рабочий подвод инструмента по трем осям в точку с координатами X-35 Y-14 Z0 — подвод к поверхности детали. Величина подачи — 40 мм/мин</p>
X35 Y-14 Z-3	<p>Рабочее перемещение инструмента по линии одновременно по осям <math>X</math> и <math>Z</math>. Координата по оси <math>Y</math> не изменяется. Происходит маятниковое врезание на глубину 3 мм. Подача остается <math>F = 40</math> мм/мин. Выполняется второй проход</p> 
X-35	<p>Рабочее перемещение инструмента по линии только по оси <math>X</math>. Координаты осей <math>Z</math> и <math>Y</math> не изменяются. Происходит выравнивание плоскости на глубине 3 мм. Подача остается <math>F = 40</math> мм/мин</p>
X35 Y-14 Z-6	<p>Рабочее перемещение инструмента по линии одновременно по осям <math>X</math> и <math>Z</math>. Координата по оси <math>Y</math> не изменяется. Происходит еще одно маятниковое врезание на глубину до 6 мм. Подача остается <math>F = 40</math> мм/мин. Выполняется третий проход</p>
X-35	<p>Рабочее перемещение инструмента по линии только по оси <math>X</math>. Координаты по осям <math>Z</math> и <math>Y</math> не изменяются. Происходит выравнивание плоскости на глубине 6 мм. Подача остается <math>F = 40</math> мм/мин</p>

Кадр	Расшифровка кадра
G0 Z-3	Ускоренный отвод инструмента по оси Z в точку с координатами X-35 Y-14 Z3 (координаты по осям X и Y не изменяются)
G1 X-35 Y-20 Z-3 F40	Рабочий подвод инструмента по трем осям в точку с координатами X-35 Y-20 Z-3 — подвод к поверхности паза. Величина подачи — 40 мм/мин
X35 Y-20 Z-6	Рабочее перемещение инструмента по линии одновременно по осям X и Z. Координата по оси Y не изменяется. Происходит еще одно маятниковое врезание на глубину до 6 мм. Подача остается $F = 40$ мм/мин. Выполняется четвертый проход
X-35	Рабочее перемещение инструмента по линии только по оси X. Координаты по осям Z и Y не изменяются. Происходит выравнивание плоскости на глубине 6 мм. Подача остается $F = 40$ мм/мин
Цикл из двух параллельных проходов и двух возвратов описывается еще один раз до глубины 9 мм. Затем — отвод инструмента на высоту 5 мм над плоскостью детали	
G0 Z5	Ускоренный отвод инструмента по оси Z в точку с координатами X-35 Y-14 Z5 (координаты X и Y не изменяются)
M5	Останов вращения шпинделя
M30	Конец программы, переход в начало программы

5.6. Для загрузки программы нажмите кнопку *Открыть файл* и выберите программу «Паз». Во всплывающем окне необходимо выбрать «Все файлы» во вкладке *Тип файлов*.



В рабочем поле появится текст программы.

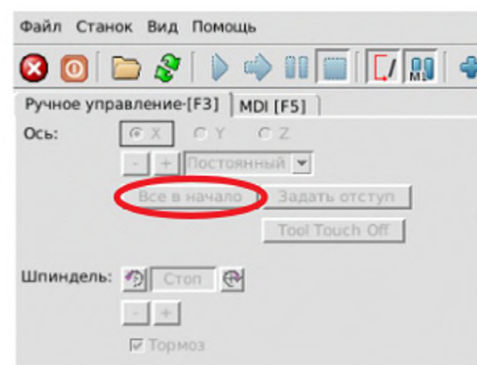


5.6. Убедитесь, что защитное стекло опущено и запустите программу (кнопка *Начать выполнение*).



Начать выполнение

5.7. После завершения отработки программы разгоните станок в ноль, нажав кнопку *Все в начало*.



## 5.2. Программирование токарной обработки

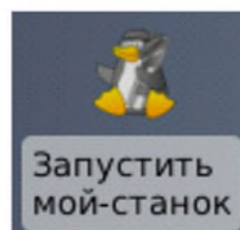
### 5.2.1. Интерфейс программы Linux CNC: токарная обработка

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

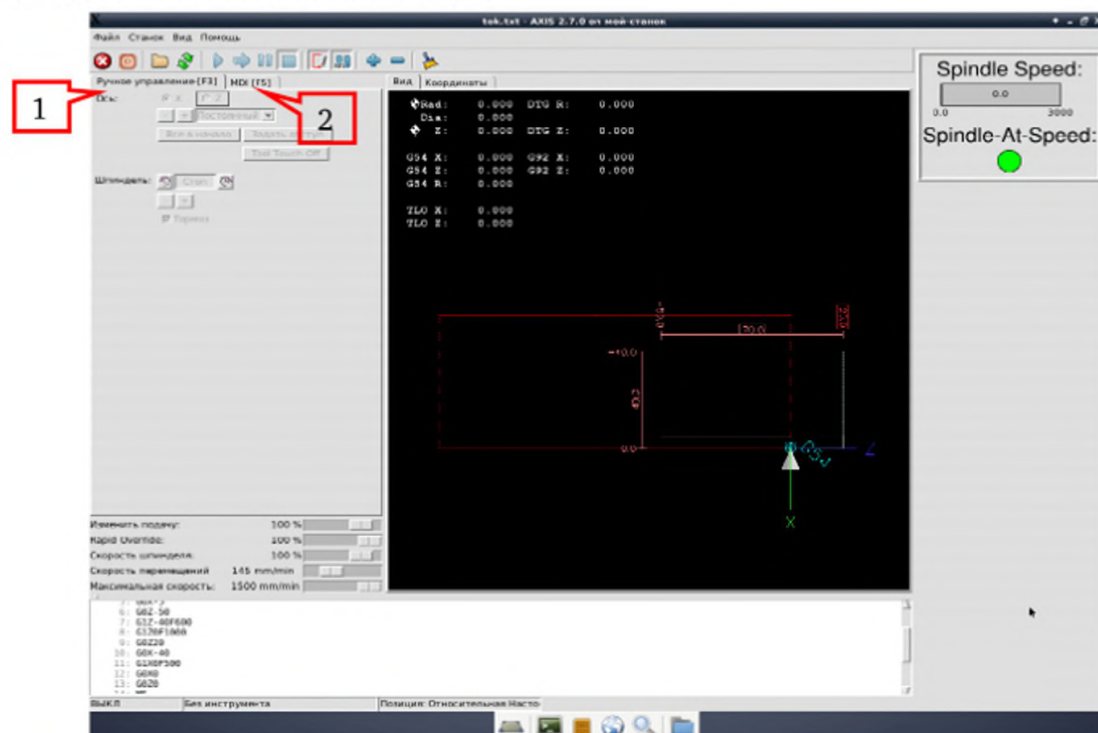
- знать назначение управляющих кнопок;
- знать основные параметры вкладок Ручное управление и MDI.



На рабочем столе найдите ярлык программы Linux CNC и запустите его. Откроется окно программы.



По умолчанию открывается окно *Ручное управление* (1), оно активно после включения питания. Далее следует другая вкладка: *MDI* (*РВД-ручной ввод данных*) (2).



Рассмотрим более подробно инструменты окна программы Linux CNC.

Перечислим основные кнопки инструментов управления токарным станком.



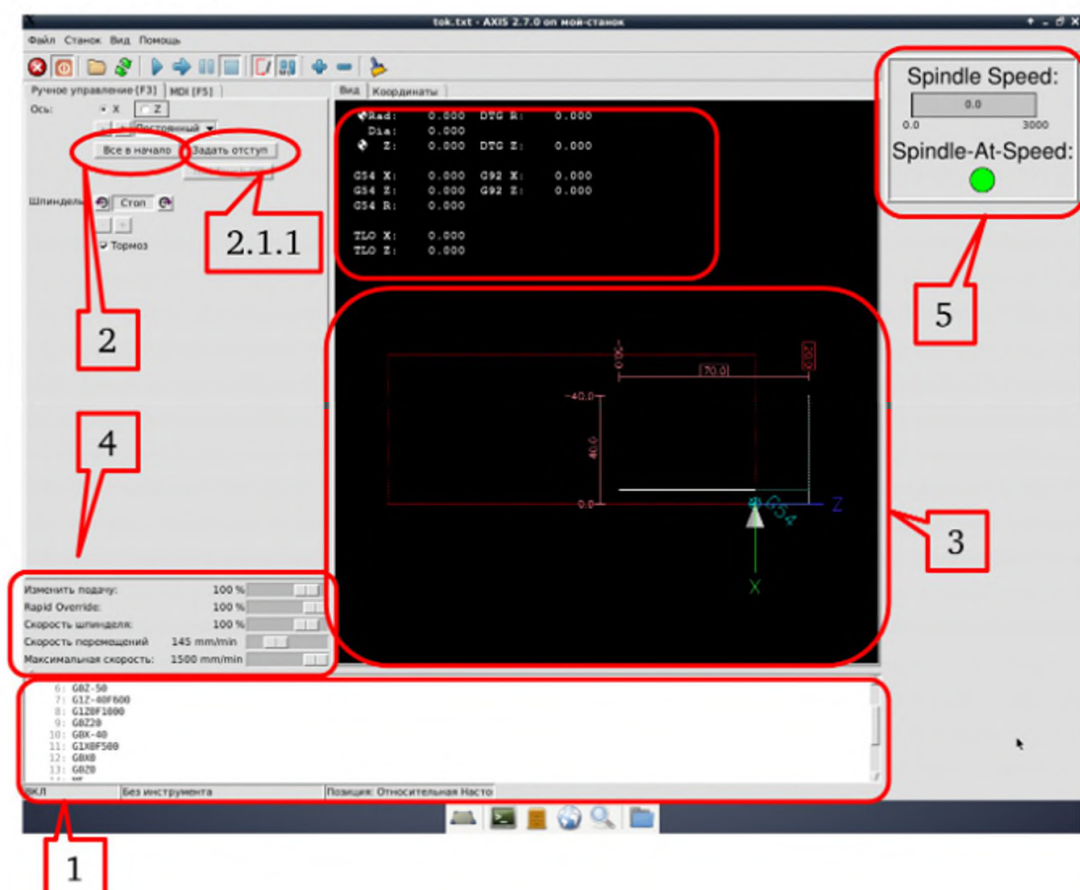
- [1] Аварийная остановка (F1).
- [2] Питание станка (F2).
- [3] Открыть файл с кодом (Ctrl-O).
- [4] Перечитать текущий файл (Ctrl-R).
- [5] Начать исполнение текущего файла (R).

- [6] Исполнить следующую строку (T).
- [7] Приостановить (P) или продолжить (S) исполнение.
- [8] Остановить исполнение программы (ESC).
- [9] Пропускать строки с «/» (ALT-M/)
- [10] Включить остановку по требованию (ALT-M1).
- [11] Приблизить. + (Плюс)
- [12] Удалить. – (Минус)
- [13] Очистить путь (Ctrl-K).

Нажмите оранжевую кнопку Питание станка. Когда эта кнопка нажата, Linux CNC готов к работе.



Рассмотрим основные параметры вкладки *Ручное управление* (Выполнение)



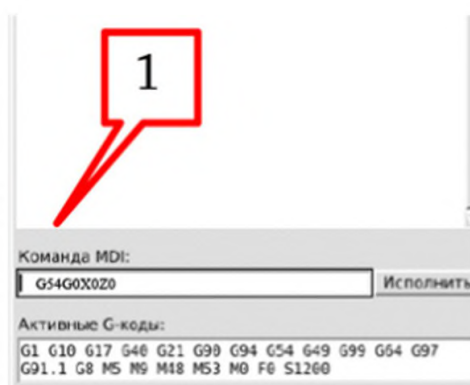
[4] Блок *Feed Rate* (Скорость подачи) позволяет управлять скоростью подачи.

[5] Блок *Spindle Speed* (Частота вращения шпинделя) позволяет управлять скоростью вращения шпинделя.

Рассмотрим основные параметры вкладки MDI (РВД — ручной ввод данных).

Вкладка MDI предназначена для ручного ввода данных. В этой вкладке вы можете построчно протестировать программный код или вывести шпиндель в нужное положение.

Для этого в строке ввода данных Команда MDI [1] напишите пример кода: G54G0X0Z0 и нажмите кнопку Исполнить. Программа установит шпиндель в указанные координаты в «ноль станка». При этом в журнале MDI [2] сохранится введенный вами код.



## 5.2.2. Программирование линейных перемещений

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:

- выполнять привязку заготовки и инструмента;
- программировать линейные перемещения инструмента.

Программирование токарной обработки линейных поверхностей на станке с ЧПУ в системе Linux CNC производится в следующей последовательности.

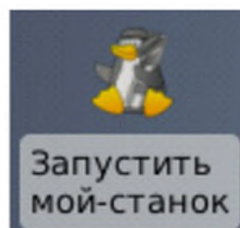
### Программирование линейных перемещений

#### 1. Включите станок.

Включите станок



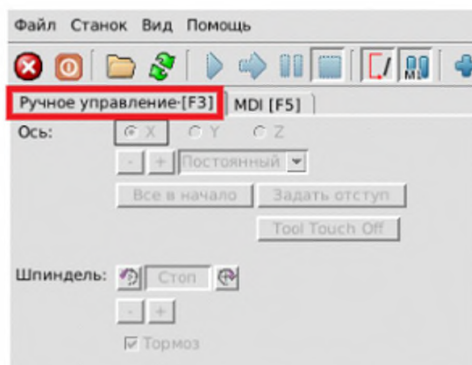
#### 2. Откройте программное обеспечение Linux CNC.



3. Выведите рабочие органы станка в ноль (разгон станка в ноль). Для того, чтобы разогнать станок ноль выполните следующие действия:

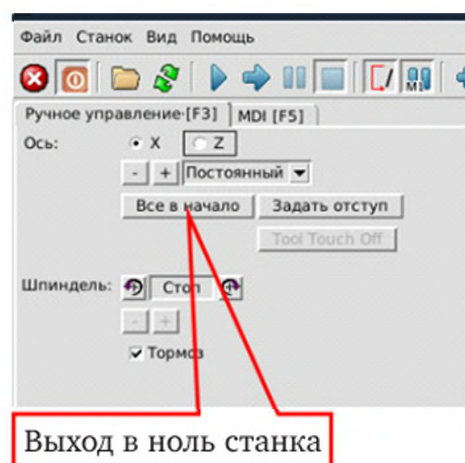
Разгоните станок в ноль по осям

3.1. Нажмите кнопку *Ручное управление* интерфейса Linux CNC.

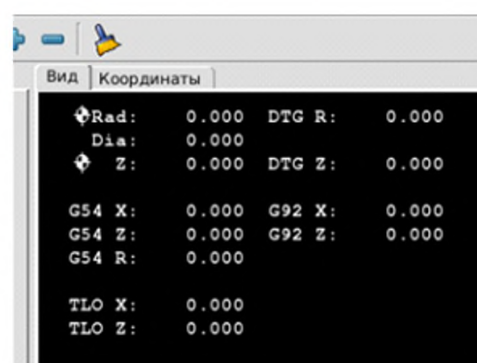




3.2. Нажмите кнопку *Все в начало* интерфейса системы управления Linux CNC.



Станок автоматически сместит инструмент и встанет в ноль. Теперь базы приняты, и станок «знает», где располагается инструмент. На экране вы обнаружите нулевые координаты.



4. Привязка ноля заготовки. Чтобы привязать ноль заготовки, выполните следующие действия.

Привяжите заготовку по осям X и Z

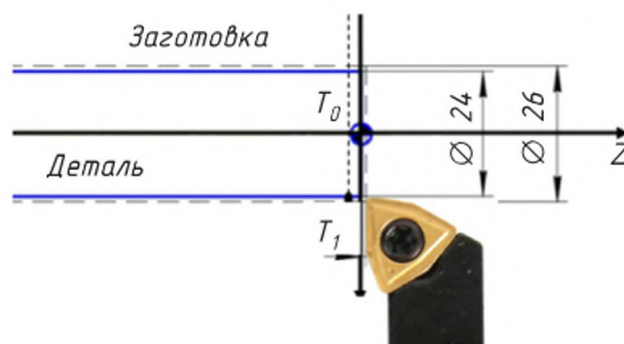
4.1. Для выхода в ноль по оси Z по чертежу определите положение ноля заготовки. На чертеже рабочий ноль находится в точке пересечения осей X и Z и обозначен  $T_0$ .



4.2. Закрепите заготовку в патроне в ручном режиме.



4.3. С помощью кнопок на клавиатуре  $\leftarrow$  (влево по оси  $z$ )  $\rightarrow$  (вправо по оси  $z$ )  $\uparrow$  (от себя по оси  $x$ )  $\downarrow$  (на себя по оси  $x$ ) осторожно подведите инструмент к точке  $T_1$  с координатами  $X = 0, Z = -1$ .

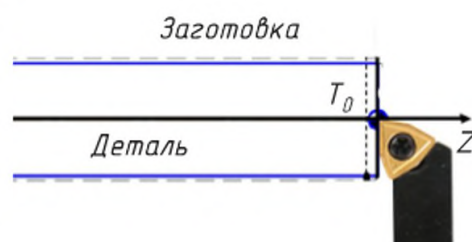


4.4. Включите шпиндель станка, нажав кнопку включения шпинделя.



Пуск шпинделя

4.5. Вручную подрежьте торец заготовки, используя при этом клавиши управления курсором. Пройти резцом по заготовке нужно чуть дальше по оси  $X$  от нулевой точки, на координату  $X = -0,6$ . Координату отслеживайте по экрану координат.

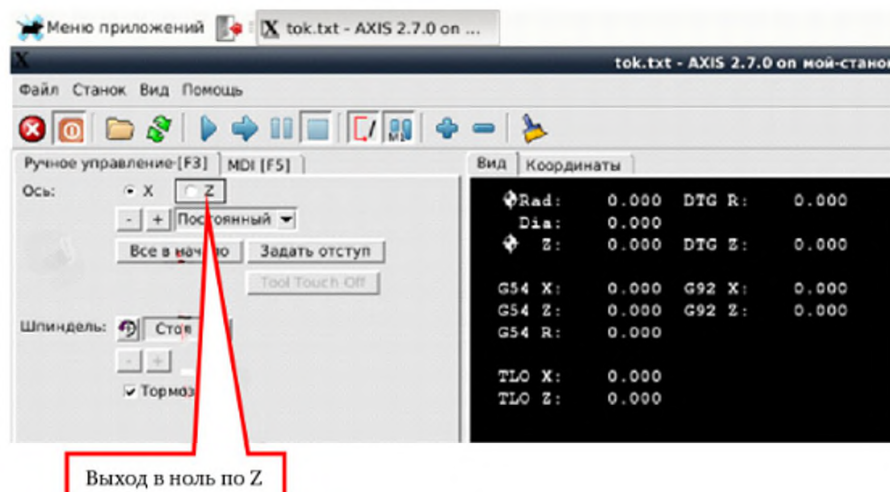


4.6. Остановите вращение шпинделя, нажав на *Стоп*.

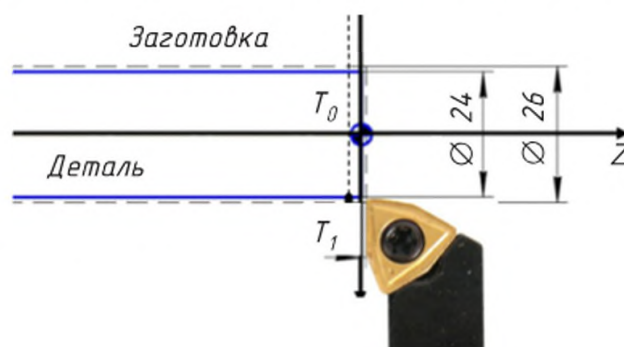


Стоп шпинделя

4.7. Не отодвигая инструмент, привяжите рабочий ноль по  $Z$ , для этого нажмите последовательно на кнопки *Выход в ноль по  $Z$*  и *Задать отступ*, установите значение 0 в поле для ввода. Подтвердите свой выбор.



4.8. Для выхода в ноль по оси  $X$  подведите инструмент к установленной в патроне заготовке в точку, обозначенную  $T_1$ .

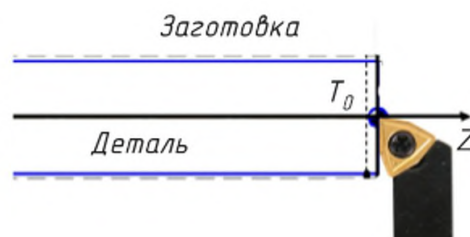


4.9. Включите шпиндель станка, нажав кнопку включения шпинделя.



Пуск шпинделя

4.10. Вручную подрежьте заготовку по длине, вдоль оси  $X$ , используя при этом клавиши управления курсором. Пройти резцом по заготовке нужно чуть дальше длины изготавливаемой детали.

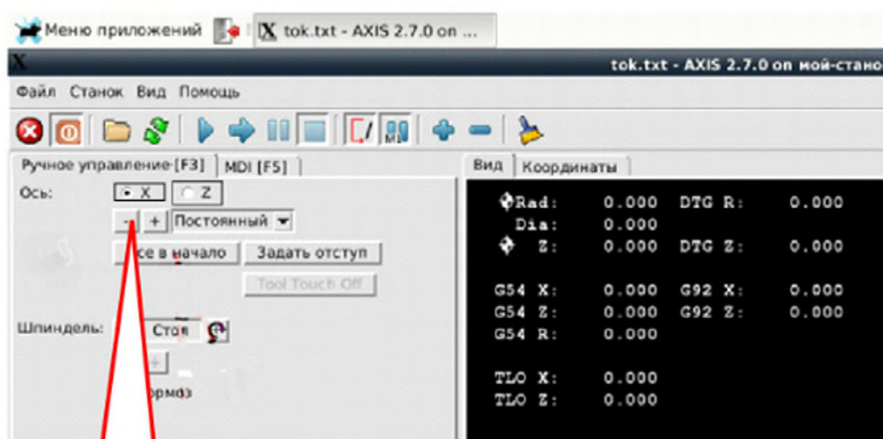


4.11. Остановите вращение шпинделя, нажав на «Стоп».



Стоп шпинделя

4.12. Не отодвигая инструмент, привяжите рабочий ноль по  $X$ , для этого нажмите последовательно на кнопки *Выход в ноль по  $X$*  и *Задать отступ*, установите значение  $D/2$  в поле для ввода, где  $D$  — это измеренный штангенциркулем диаметр после подрезания заготовки. Подтвердите свой выбор.



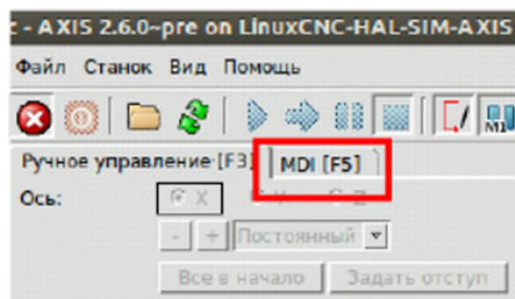
Выход в ноль по  $X$



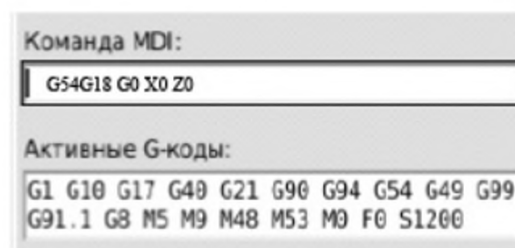
5. Выход инструмента в рабочий ноль.

Выведите инструмент в рабочий ноль

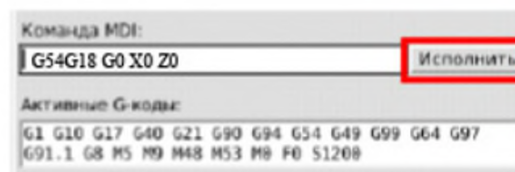
Выход инструмента в нулевую точку выполняется в режиме работы Linux CNC MDI (ручной ввод данных).



Откройте режим работы MDI и внесите в строку кадр: G54 G18 G0 X0 Z0.



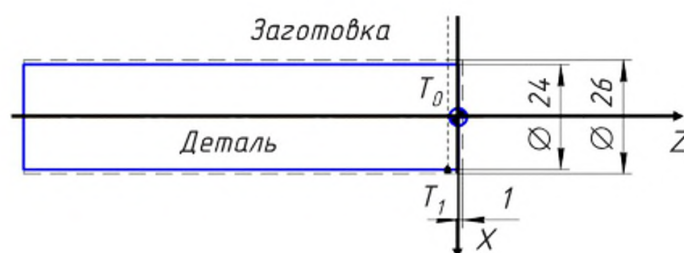
Нажмите кнопку «Исполнить». Инструмент по программе переместится в указанные в кадре координаты на ускоренной подаче.



6. Запрограммируйте и выполните процесс подрезания торца детали.

Подрезание торца детали

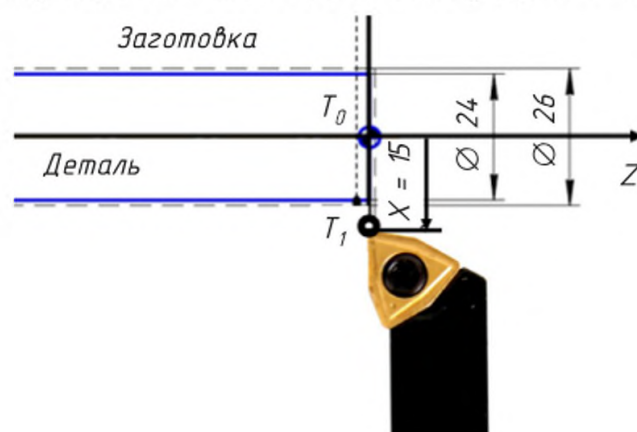
6.1. Проанализируйте чертеж обрабатываемой детали, выберите нулевую точку заготовки и настройте ее так, как описано в пункте 4.



6.2. С помощью кнопок на клавиатуре ← (влево по оси z), → (вправо по оси z) ↑ (от себя по оси x), ↓ (на себя по оси x) осторожно подве-



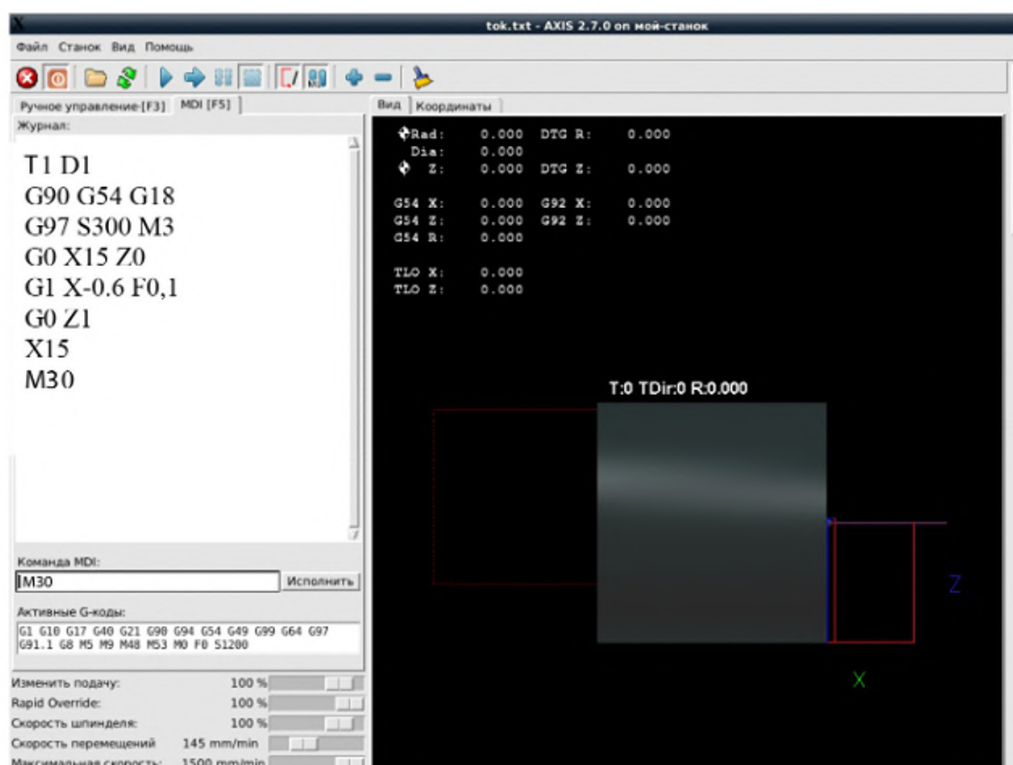
дите инструмент к точке с координатами X20 Z0. Эта точка совпадает с плоскостью торца детали и находится за пределами ее образующей.



6.3. Напишите в редакторе «Блокнот» на компьютере следующую программу для подрезки торца.

Кадр	Расшифровка кадра
T1 D1	Выбор инструмента № 1 с корректором № 1 (первая режущая кромка)
G90 G54 G18	Абсолютный отсчет координат, выбор нулевой точки заготовки, выбор плоскости программирования ZOX
G97 S300 M3	Задание постоянного числа оборотов шпинделя, число оборотов шпинделя $S = 300$ об/мин, направление вращения шпинделя — по часовой стрелке
G0 X15 Z0	Ускоренное перемещение инструмента в точку с координатами X15 Z0
G1 X-0.6 F0,1	Рабочее перемещение инструмента в точку с координатами X-0,6 Z0 (координата Z не меняется по сравнению с предыдущим кадром) с подачей $F = 0,1$ мм/об. Производится подрезание торца
G0 Z1	Ускоренный отвод инструмента по оси Z в точку с координатами X0 Z1
X15	Ускоренный отвод инструмента по оси X в точку с координатами X15 Z1
M30	Конец программы, переход в начало программы

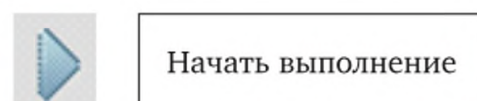
6.4. Откройте экран MDI и загрузите написанную в блокноте программу. Откроется окно программы с обновленным кодом. В окне предварительного просмотра появится графическое изображение.



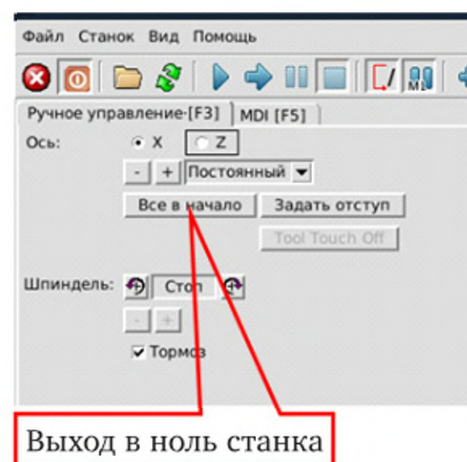
6.5. На изображении синим цветом обозначена линия, которая выполнена на рабочей подаче (G1), красным цветом обозначены ускоренные перемещения инструмента по команде G0.



6.6. Убедитесь, что защитное стекло опущено и запустите программу (кнопка *Начать выполнение*). Торцы детали будут обработаны.



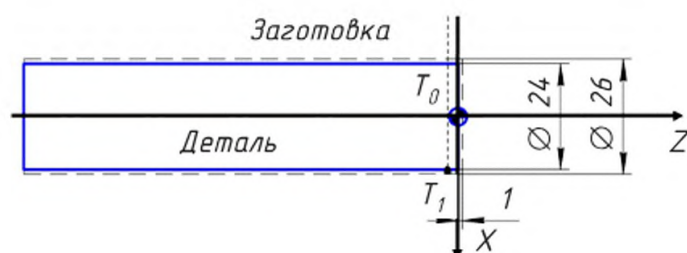
6.7. Разгоните станок в ноль.



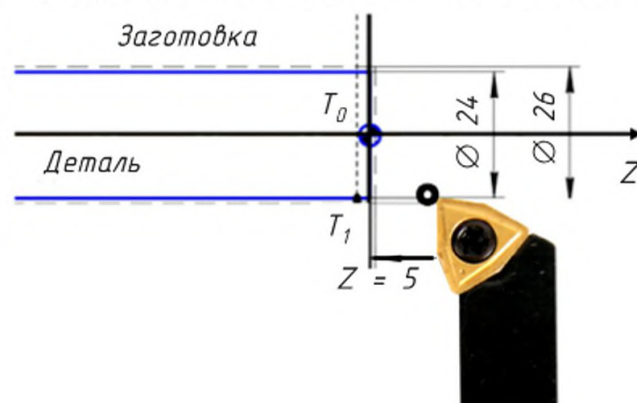
7. Запрограммируйте и выполните обработку наружной цилиндрической поверхности

Обработка наружной цилиндрической поверхности

7.1. Проанализируйте чертеж обрабатываемой детали, выберите нулевую точку заготовки и настройте ее так, как описано в пункте 4.



7.2. С помощью кнопок на клавиатуре ← (влево по оси  $z$ ), → (вправо по оси  $z$ ), ↑ (от себя по оси  $x$ ), ↓ (на себя по оси  $x$ ) осторожно подведите инструмент к точке с координатами X12 Z5. Эта точка совпадает с плоскостью торца детали и находится за пределами ее образующей.



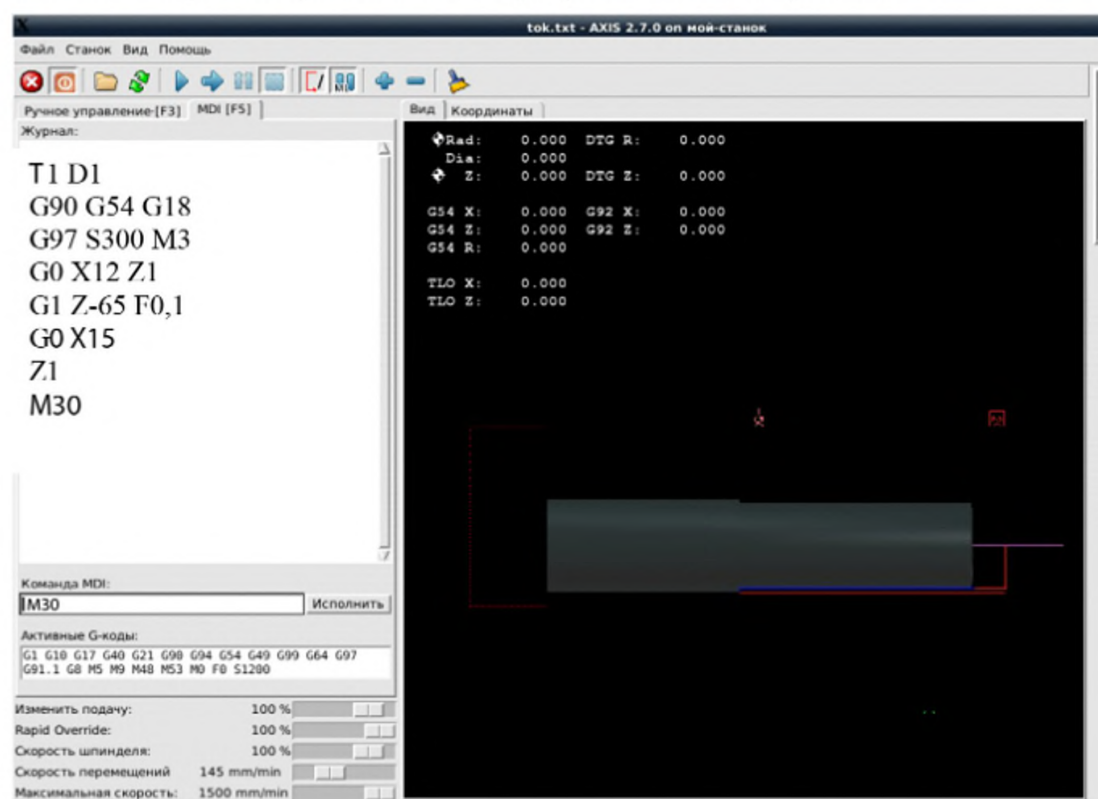
7.3. Напишите в редакторе «Блокнот» на компьютере следующую программу для обработки наружной цилиндрической поверхности.

Кадр	Расшифровка кадра
T1 D1	Выбор инструмента № 1 с корректором № 1 (первая режущая кромка)
G90 G54 G18	Абсолютный отсчет координат, выбор нулевой точки заготовки, выбор плоскости программирования ZOX
G97 S300 M3	Задание постоянного числа оборотов шпинделя, число оборотов шпинделя $S = 300$ об/мин, направление вращения шпинделя — по часовой стрелке
G0 X12 Z1	Ускоренное перемещение инструмента в точку с координатами X12 Z1



Кадр	Расшифровка кадра
G1 Z-65 F0,1	Рабочее перемещение инструмента в точку с координатами X12 Z-65 (координата X не меняется по сравнению с предыдущим кадром) с подачей $F = 0,1$ мм/об. Производится обработка наружного цилиндра
G0 X15	Ускоренный отвод инструмента по оси X в точку с координатами X15 Z-65
Z1	Ускоренный отвод инструмента по оси Z в точку с координатами X15 Z1
M30	Конец программы, переход в начало программы

7.4. Откройте экран MDI и загрузите написанную программу. Откроется окно программы с обновленным кодом. В окне предварительного просмотра появится графическое изображение.



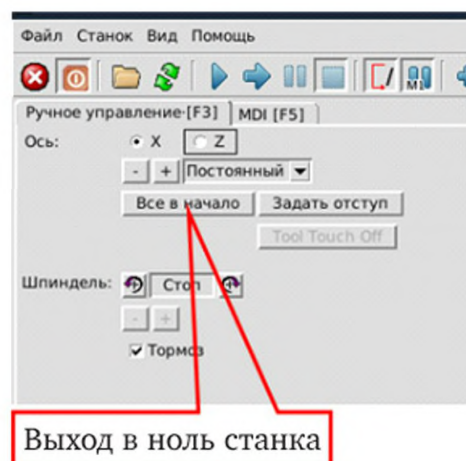
7.5. Убедитесь, что защитное стекло опущено и запустите программу (кнопка *Начать выполнение*). Торцы детали будут обработаны.



Начать выполнение



### 7.6. Разгоните станок в ноль.



### 5.2.3. Программирование круговых перемещений

Изучив данный учебный элемент, учащиеся смогут:  
— программировать круговые перемещения инструмента.

Программирование токарной обработки фасонных поверхностей на станке с ЧПУ в системе Linux CNC производится в следующей последовательности:

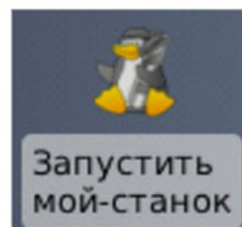
#### Программирование круговых перемещений

#### 1. Включите станок.

Включите станок



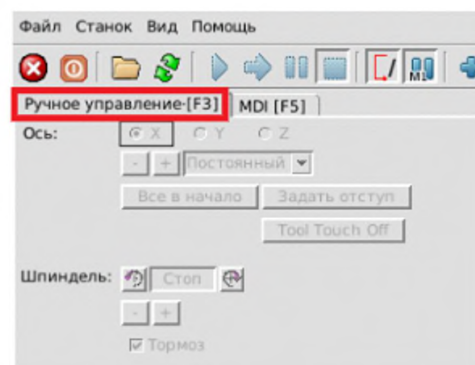
#### 2. Откройте программное обеспечение Linux CNC.



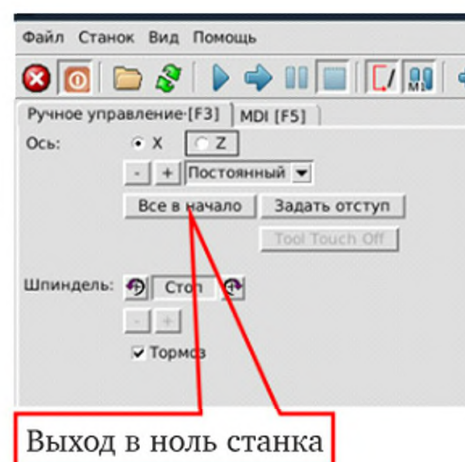
3. Выведите рабочие органы станка в ноль (разгон станка в ноль). Для того, чтобы разогнать станок в ноль, выполните следующие действия.

Разгоните станок в ноль по осям

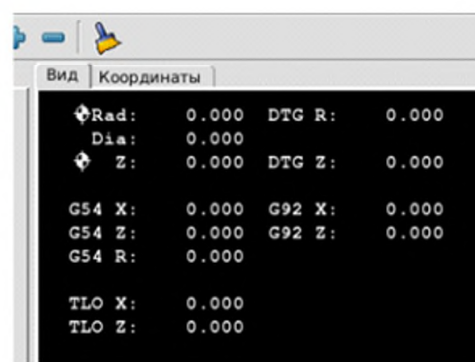
3.1. Нажмите кнопку *Ручное управление* интерфейса Linux CNC.



3.2. Нажмите кнопку *Все в начало* интерфейса системы управления Linux CNC.



Станок автоматически сместит инструмент и встанет в ноль. Теперь базы приняты и станок «знает», где располагается инструмент. На экране вы обнаружите нулевые координаты.



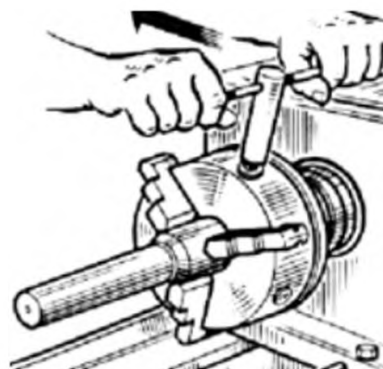
4. **Привязка ноля заготовки.** Чтобы привязать ноль заготовки, выполните следующие действия:

Привяжите заготовку по осям X и Z

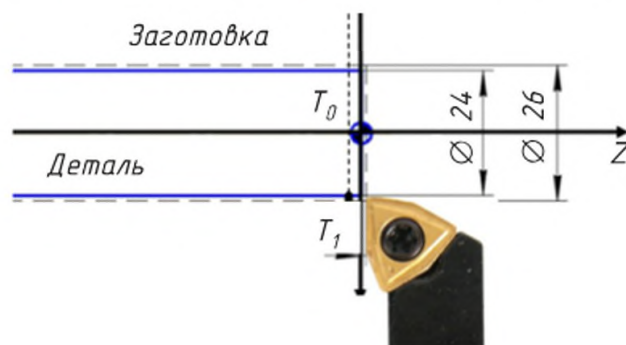
4.1. Для выхода в ноль по оси Z по чертежу определите положение ноля заготовки. На чертеже рабочий ноль находится в точке пересечения осей X и Z и обозначен  $T_0$ .



4.2. Закрепите заготовку в патроне в ручном режиме.



4.3. С помощью кнопок на клавиатуре  $\leftarrow$  (влево по оси  $z$ ),  $\rightarrow$  (вправо по оси  $z$ ),  $\uparrow$  (от себя по оси  $x$ ),  $\downarrow$  (на себя по оси  $x$ ) осторожно подведите инструмент к точке  $T_1$  с координатами  $X = 0, Z = -1$ .

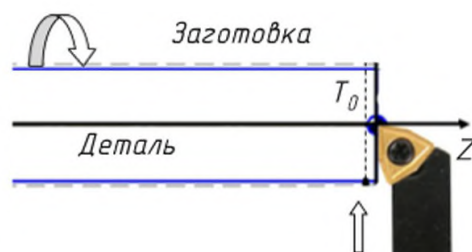


4.4. Включите шпиндель станка, нажав кнопку включения шпинделя.



Пуск шпинделя

4.5. Вручную подрежьте торец заготовки, используя при этом клавиши управления курсором. Пройти резцом по заготовке нужно чуть дальше по оси  $X$  от нулевой точки, на координату  $X = -0,6$ . Координату отслеживайте по экрану координат.



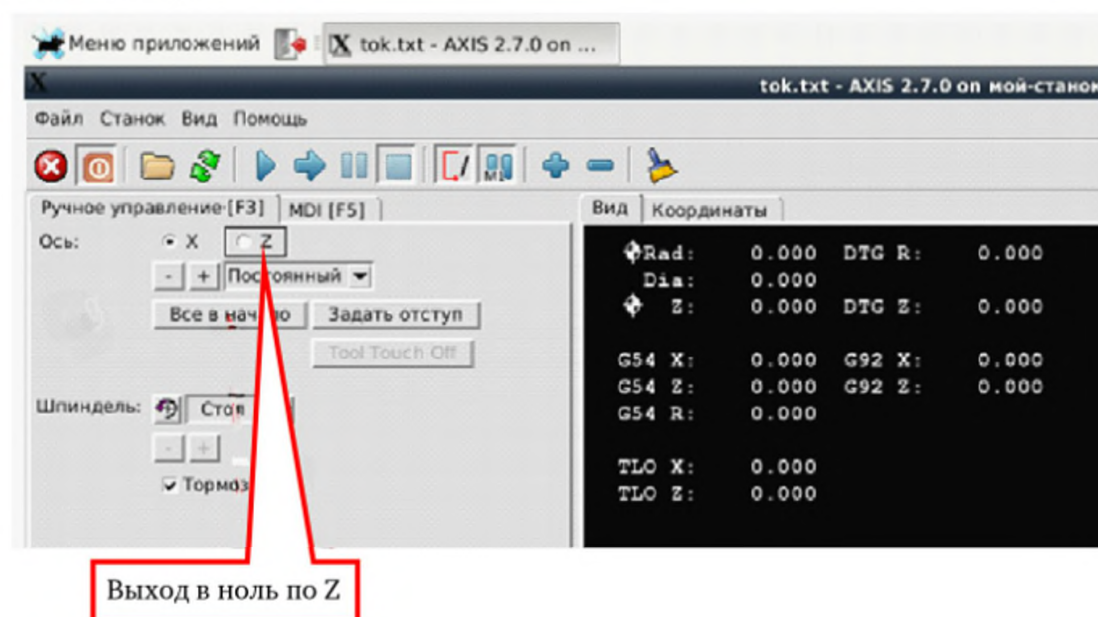
4.6. Остановите вращение шпинделя, нажав на *Стоп*.



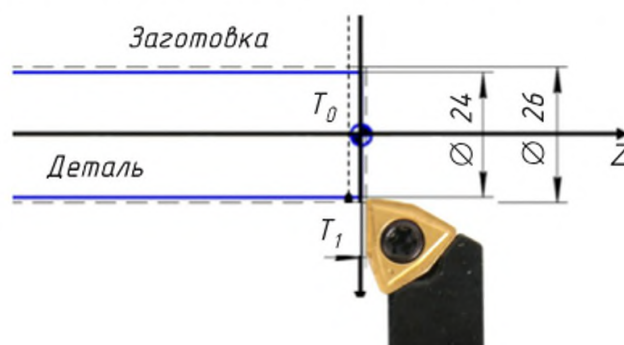
Стоп шпинделя



4.7. Не отодвигая инструмент, привяжите рабочий ноль по Z, для этого нажмите последовательно на кнопки *Выход в ноль по Z* и *Задать отступ*, установите значение 0 в поле для ввода. Подтвердите свой выбор.



4.8. Для выхода в ноль по оси X, подведите инструмент к установленной в патроне заготовке в точку, обозначенную  $T_1$ .

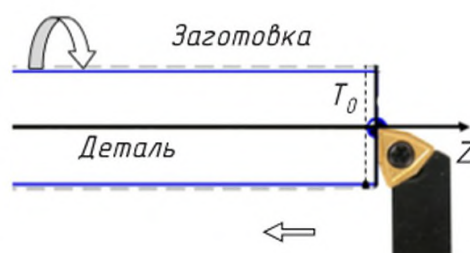


4.9. Включите шпиндель станка, нажав кнопку включения шпинделя.



Пуск шпинделя

4.10. Вручную подрежьте заготовку по длине, вдоль оси X, используя при этом клавиши управления курсором. Пройти резцом по заготовке нужно чуть дальше длины изготавливаемой детали.



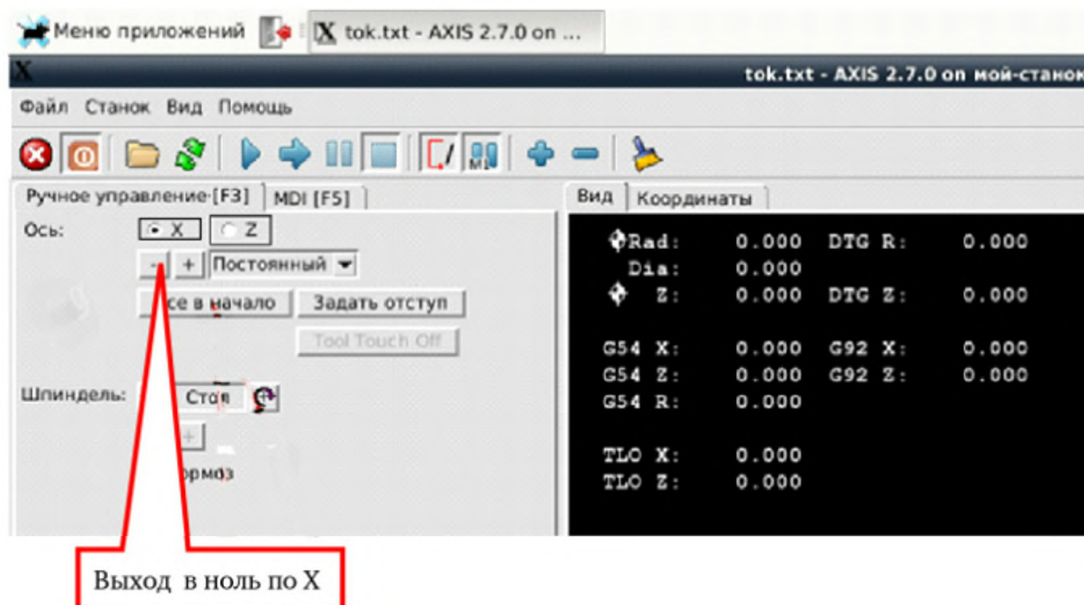


4.11. Остановите вращение шпинделя, нажав на *Стоп*.



Стоп шпинделя

4.12. Не отодвигая инструмент, привяжите рабочий ноль по X, для этого нажмите последовательно на кнопки *Выход в ноль по X* и *Задать отступ*, установите значение D/2 в поле для ввода, где D — это измеренный штангенциркулем диаметр после подрезания заготовки. Подтвердите свой выбор.



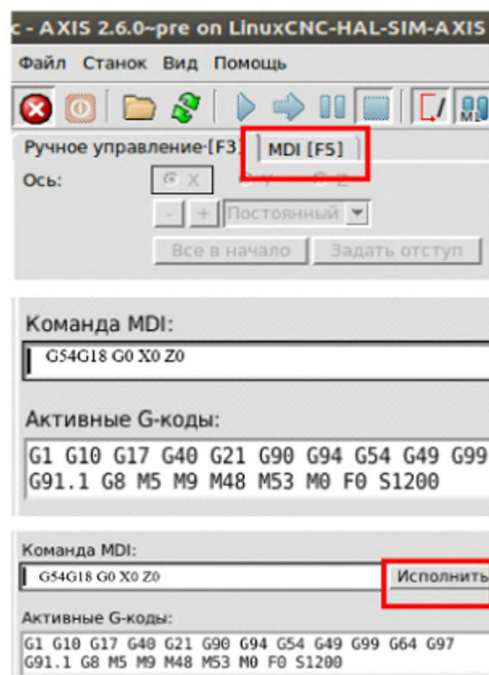
5. Выход инструмента в рабочий ноль.

Выведите инструмент в рабочий ноль

Выход инструмента в нулевую точку выполняется в режиме работы Linux CNC MDI (ручной ввод данных).

Откройте режим работы MDI и внесите в строку кадр: G54 G18 G0 X0 Z0.

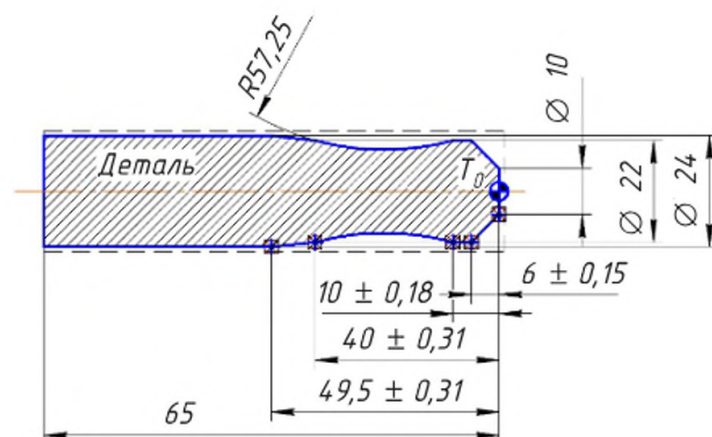
Нажмите кнопку *Исполнить*. Инструмент по программе переместится в указанные в кадре координаты на ускоренной подаче.



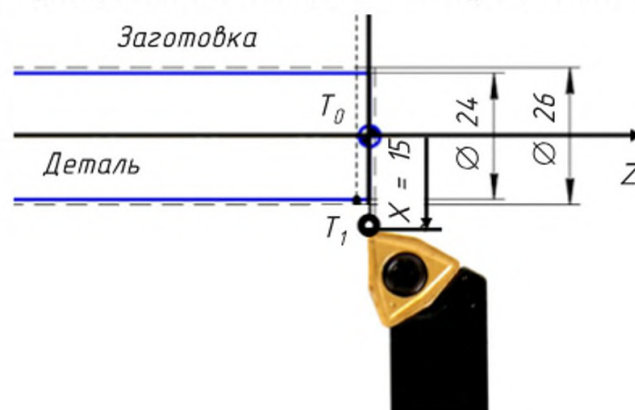
6. Запрограммируйте и выполните процесс подрезания торца детали.

Подрезание торца детали

6.1. Проанализируйте чертеж обрабатываемой детали, выберите нулевую точку заготовки и настройте ее так, как описано в пункте 4.



6.2. С помощью кнопок на клавиатуре ← (влево по оси  $z$ ), → (вправо по оси  $z$ ), ↑ (от себя по оси  $x$ ), ↓ (на себя по оси  $x$ ) осторожно подведите инструмент к точке с координатами X20 Z0. Эта точка совпадает с плоскостью торца детали и находится за пределами ее образующей.

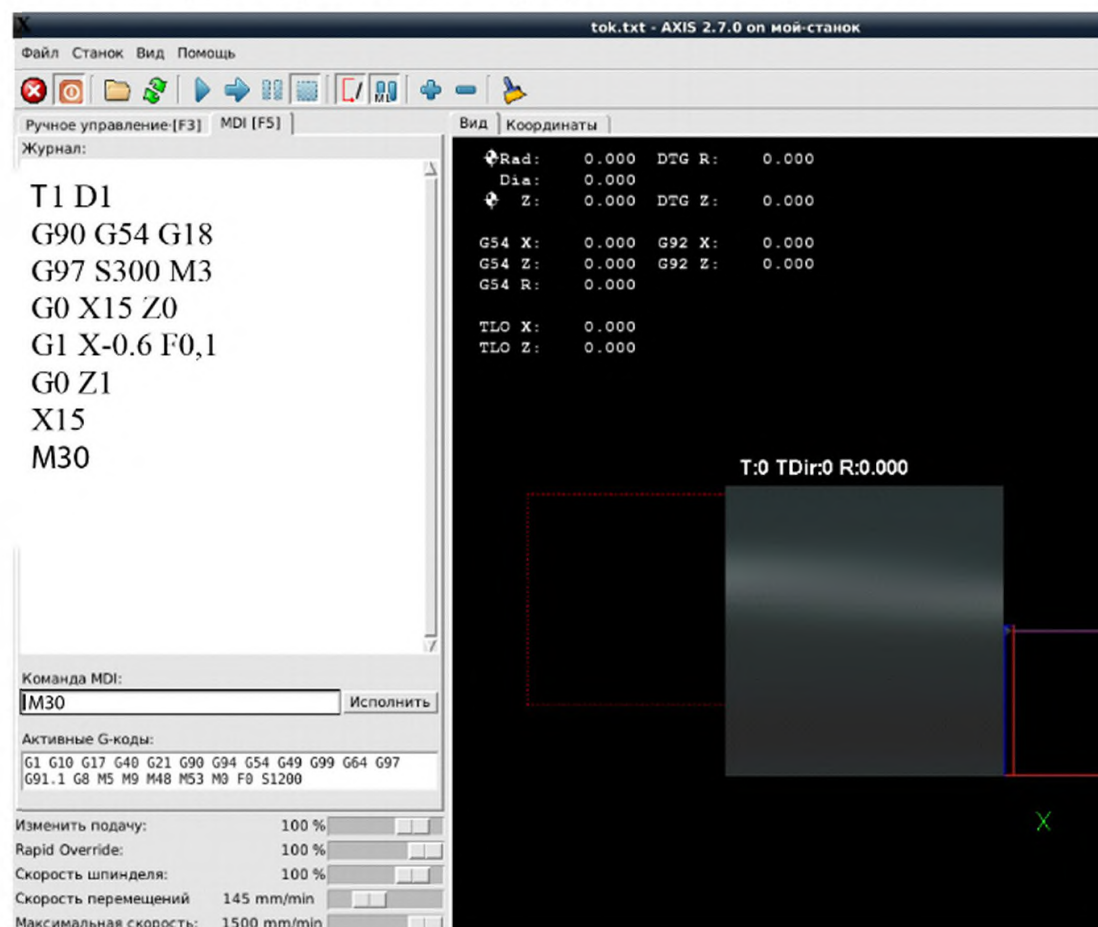


6.3. Напишите в редакторе «Блокнот» на компьютере следующую программу для подрезки торца.

Кадр	Расшифровка кадра
T1 D1	Выбор инструмента № 1 с корректором № 1 (первая режущая кромка)
G90 G54 G18	Абсолютный отсчет координат, выбор нулевой точки заготовки, выбор плоскости программирования ZOX

Кадр	Расшифровка кадра
G97 S300 M3	Задание постоянного числа оборотов шпинделя, число оборотов шпинделя $S = 300$ об/мин, направление вращения шпинделя — по часовой стрелке
G0 X15 Z0	Ускоренное перемещение инструмента в точку с координатами X15 Z0
G1 X-0.6 F0,1	Рабочее перемещение инструмента в точку с координатами X-0,6 Z0 (координата Z не меняется по сравнению с предыдущим кадром) с подачей $F = 0,1$ мм/об. Производится подрезание торца
G0 Z1	Ускоренный отвод инструмента по оси Z в точку с координатами X0 Z1
X15	Ускоренный отвод инструмента по оси X в точку с координатами X15 Z1
M30	Конец программы, переход в начало программы

6.4. Откройте экран MDI и загрузите написанную программу. Откроется окно программы с обновленным кодом. В окне предварительного просмотра появится графическое изображение.





6.5. На изображении синим цветом обозначена линия, которая выполнена на рабочей подаче (G1), красным цветом обозначены ускоренные перемещения инструмента по команде G0.

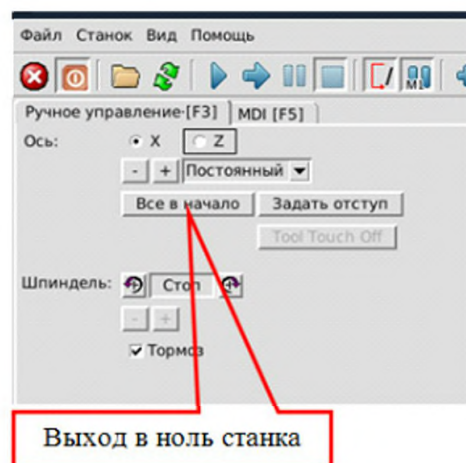


6.6. Убедитесь, что защитное стекло опущено, и запустите программу (кнопка *Начать выполнение*). Торцы детали будут обработаны.



Начать выполнение

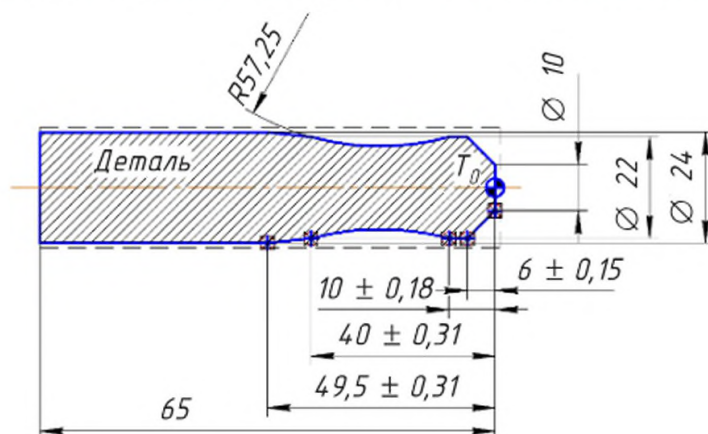
6.7. Разгоните станок в ноль.



7. Запрограммируйте и выполните обработку наружной фасонной поверхности детали.

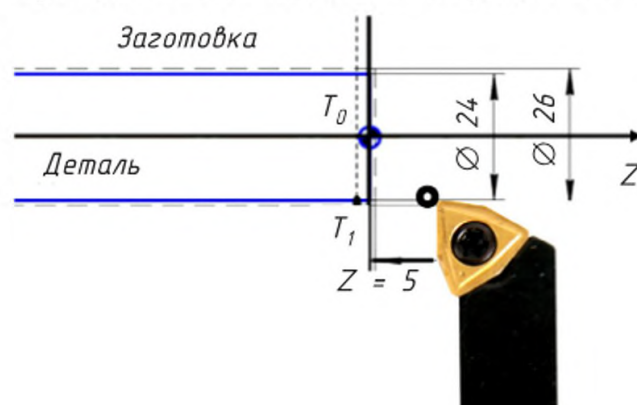
Обработка наружной фасонной поверхности

7.1. Проанализируйте чертеж обрабатываемой детали, выберите нулевую точку заготовки и настройте ее так, как описано в пункте 4.





7.2. С помощью кнопок на клавиатуре  $\leftarrow$  (влево по оси  $z$ ),  $\rightarrow$  (вправо по оси  $z$ ),  $\uparrow$  (от себя по оси  $x$ ),  $\downarrow$  (на себя по оси  $x$ ) осторожно подведите инструмент к точке с координатами X12 Z5. Эта точка совпадает с плоскостью торца детали и находится за пределами ее образующей.

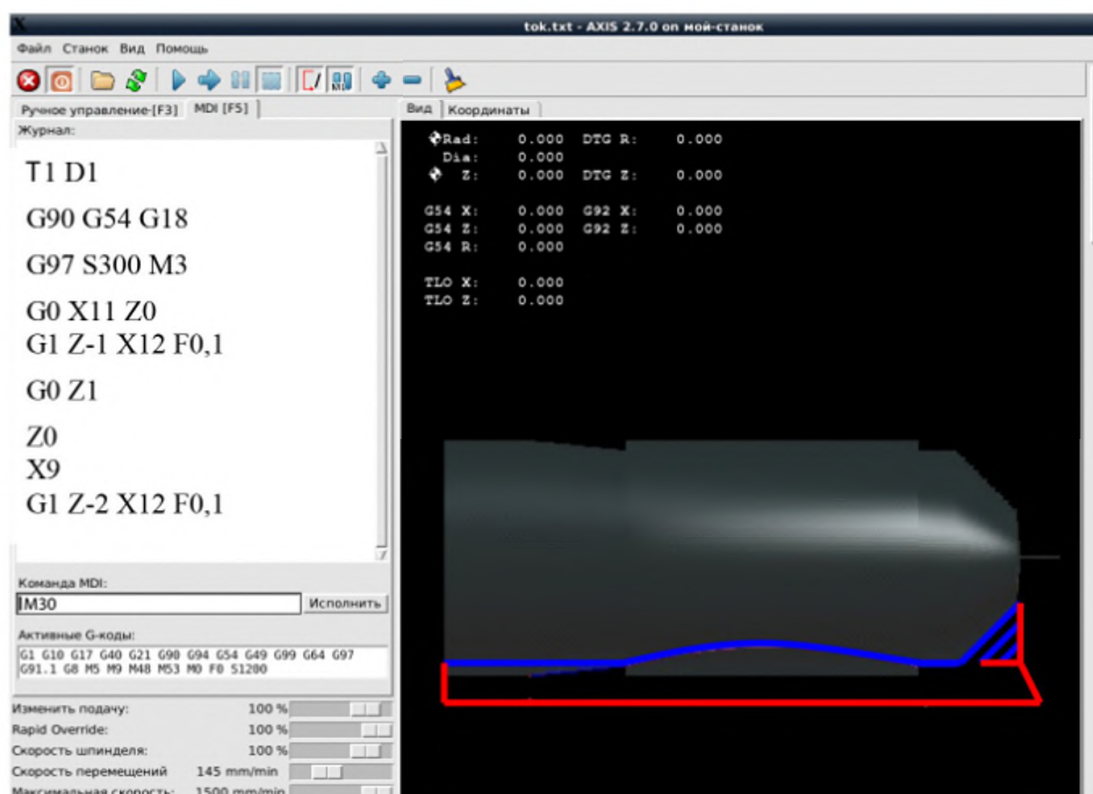


7.3. Напишите в редакторе «Блокнот» на компьютере следующую программу для обработки наружной фасонной поверхности.

Кадр	Расшифровка кадра
T1 D1	Выбор инструмента № 1 с корректором № 1 (первая режущая кромка)
G90 G54 G18	Абсолютный отсчет координат, выбор нулевой точки заготовки, выбор плоскости программирования ZOX
G97 S300 M3	Задание постоянного числа оборотов шпинделя, число оборотов шпинделя $S = 300$ об/мин, направление вращения шпинделя — по часовой стрелке
G0 X11 Z0	Ускоренное перемещение инструмента в точку с координатами X11 Z0
G1 Z-1 X12 F0,1	Рабочее перемещение инструмента в точку с координатами Z-1 X12 с подачей $F = 0,1$ мм/об. Обработка конической части детали
G0 Z1	Ускоренный отвод инструмента по оси Z в точку с координатами X12 Z1
Z0	Ускоренный подвод инструмента по оси Z в точку с координатами X12 Z0
X9	Ускоренное перемещение инструмента в точку с координатами X9 Z0
G1 Z-2 X12 F0,1	Рабочее перемещение инструмента в точку с координатами Z-2 X12 с подачей $F = 0,1$ мм/об. Обработка конической части детали

Кадр	Расшифровка кадра
G0 Z1	Ускоренный отвод инструмента по оси Z в точку с координатами X12 Z1
Z0	Ускоренный подвод инструмента по оси Z в точку с координатами X12 Z0
X9	Ускоренное перемещение инструмента в точку с координатами X7 Z0
G1 Z-4 X12 F0,1	Рабочее перемещение инструмента в точку с координатами Z-4 X12 с подачей $F = 0,1$ мм/об. Обработка конической части детали
G0 Z1	Ускоренный отвод инструмента по оси Z в точку с координатами X12 Z1
Z0	Ускоренный подвод инструмента по оси Z в точку с координатами X12 Z0
X5	Ускоренное перемещение инструмента в точку с координатами X5 Z0
G1 Z-6 X11 F0,1	Рабочее перемещение инструмента в точку с координатами Z-6 X11 с подачей $F = 0,1$ мм/об. Окончательная обработка конической части детали
Z-10	Рабочее перемещение инструмента в точку с координатами Z-10 X12 с подачей $F = 0,1$ мм/об (подача не меняется). Обработка цилиндрической части детали
G2 X11 Z-40 R57.25	Рабочее перемещение инструмента по дуге в направлении против часовой стрелки (G2) в точку с координатами $X = 11, Z = -40$ с радиусом $R = 57,25$ (значения для радиуса $R$ вводятся со знаком «-» для дуги, меньшей $180^\circ$ ) на рабочей подаче $F = 0,1$ мм/об
G1 Z-65	Рабочее перемещение инструмента по прямой в точку с координатами $X = 11, Z = -65$ на рабочей подаче $F = 0,1$ мм/об
G0 X15	Ускоренный отвод инструмента по оси X в точку с координатами X15 Z65
G0 Z1	Ускоренный отвод инструмента по оси Z в точку с координатами X15 Z1
M30	Конец программы, переход в начало программы

7.4. Откройте экран MDI и загрузите написанную в блокноте программу. Откроется окно программы с обновленным кодом. В окне предварительного просмотра появится графическое изображение.

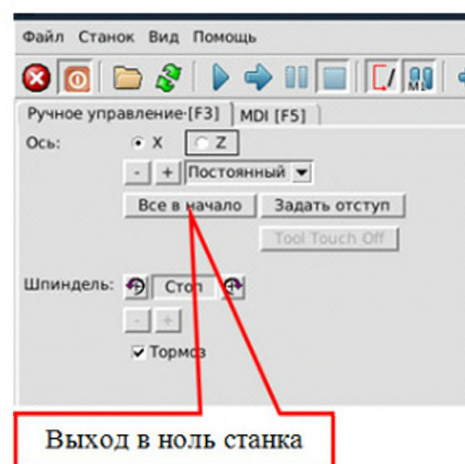


7.5. Убедитесь, что защитное стекло опущено и запустите программу (кнопка *Начать выполнение*). Торцы детали будет обработан.



Начать выполнение

7.6. Разгоните станок в ноль.



Выход в ноль станка

## Заключение

В настоящее время на станках с ЧПУ производят все необходимые части машин и механизмов любой области промышленности. Автоматизированный процесс обработки помогает сделать работу наиболее простой, качественной и с минимальной себестоимостью.

В настоящем учебном пособии рассмотрены вопросы обучения основам металлообрабатывающего производства. Любое производство начинается с конструкторской документации, которую нужно уметь читать и понимать. В металлообрабатывающем производстве важно знать оборудование, режимы и технологии обработки. Эти вопросы также рассмотрены в учебном пособии. Много внимания в учебном пособии уделено вопросам программирования токарной и фрезерной обработки на станках с ЧПУ в системе Linux CNC. Предлагаемые ООО Униматик настольные станки с числовым программным управлением «Юниор-Ф» и «Юниор-Т» komponуются компьютером с предустановленной системой Linux CNC, что позволяет практически сразу начинать изучение программирования токарной и фрезерной обработки.

Внедрение новых технологий всегда интересно и познавательно. Опытный оператор и наладчик станков с числовым программным управлением всегда востребован на любом типе производства.



## Список литературы

1. Балла, О. М. Обработка деталей на станках с ЧПУ. Оборудование. Оснастка. Технология : учебное пособие / О. М. Балла. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 368 с.
2. Денежный, П. М. Токарное дело : учебник для средн. проф.-тех. училищ / П. М. Денежный, В. А. Стискин, Е. Н. Тхор. — Москва : Высшая школа, 1976. — 240 с.
3. Должиков, В. П. Разработка технологических процессов механообработки в мелкосерийном производстве : учебное пособие / В. П. Должиков. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 328 с.
4. Захаров, В. А. Токарное дело. В картинках : учебное пособие для проф. учеб. заведений / В. А. Захаров, А. С. Чистоклетов. — Москва : Машиностроение, 1993. — 176 с.
5. Звонцов, И. Ф. Разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ : учебное пособие / И. Ф. Звонцов, К. П. Иванов, П. П. Серебrenицкий. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 588 с.
6. Кузьмин, А. В. Основы программирования систем числового программного управления : учебное пособие для вузов / А. В. Кузьмин. — Старый Оскол : Тонкие наукоемкие технологии, 2014. — 239 с.
7. Колошкина, И. Е. Автоматизация проектирования технологической документации : учебник и практикум для среднего профессионального образования / И. Е. Колошкина. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 371 с.
8. Колошкина, И. Е. Основы программирования для станков с ЧПУ : учебное пособие для среднего профессионального образования / И. Е. Колошкина, В. А. Селезнев. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 260 с.
9. Мирошин, Д. Г. Проектирование операционного технологического процесса обработки деталей типа вал: модульная технология : учебное пособие / Д. Г. Мирошин. — Екатеринбург : Издательство РГППУ, 2011. — 178 с.
10. Мирошин, Д. Г. Слесарное дело : учебное пособие для прикладного бакалавриата / Д. Г. Мирошин. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 334 с.
11. Мирошин, Д. Г. Технология программирования и эксплуатация станков с ЧПУ : учебное пособие для вузов / Д. Г. Миро-

шин, О. В. Костина, Т. В. Шестакова. — Екатеринбург : ФГАОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2011. — 145 с.

12. Работа на металлорежущих станках с программным управлением (SINUMERIK 802D sl) : учебное пособие / Е. Е. Савицкий [и др.]. — Минск : РИПО, 2013. — 155 с.

13. Слепинин В. А. Руководство для обучения токарей по металлу : учебное пособие для средн. проф.-техн. училищ / В. А. Слепинин. — Москва : Высшая школа, 1997. — 256 с.

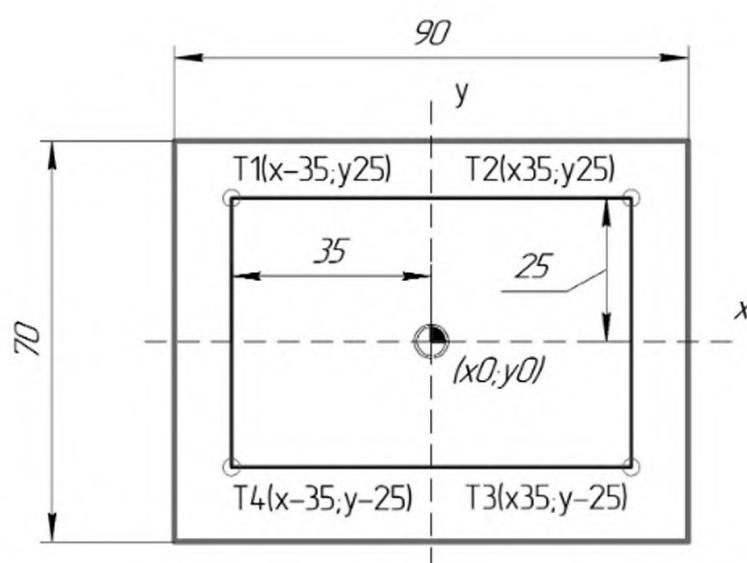
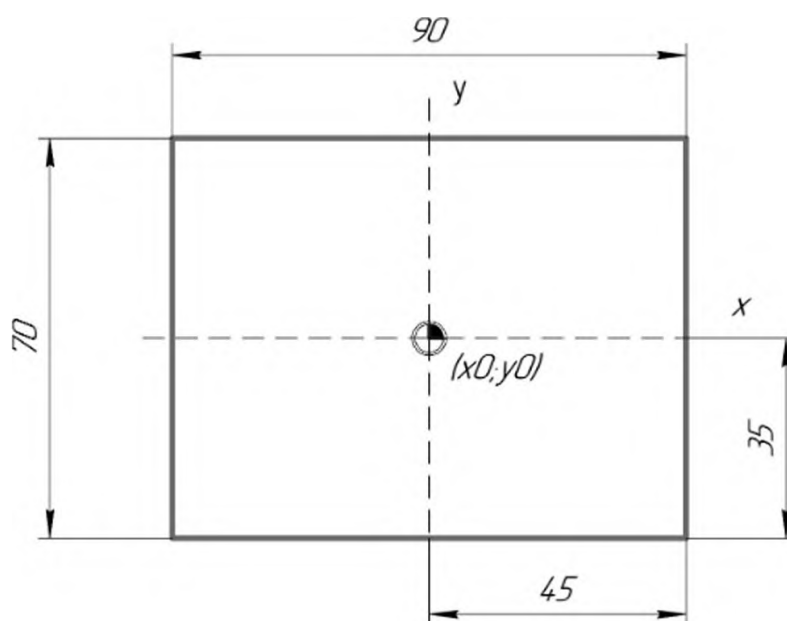
14. Сосонкин, В. Л. Системы числового программного управления : учебное пособие для вузов / В. Л. Сосонкин, Г. М. Мартинов. — Москва : Станкин, 2005 — 200 с.

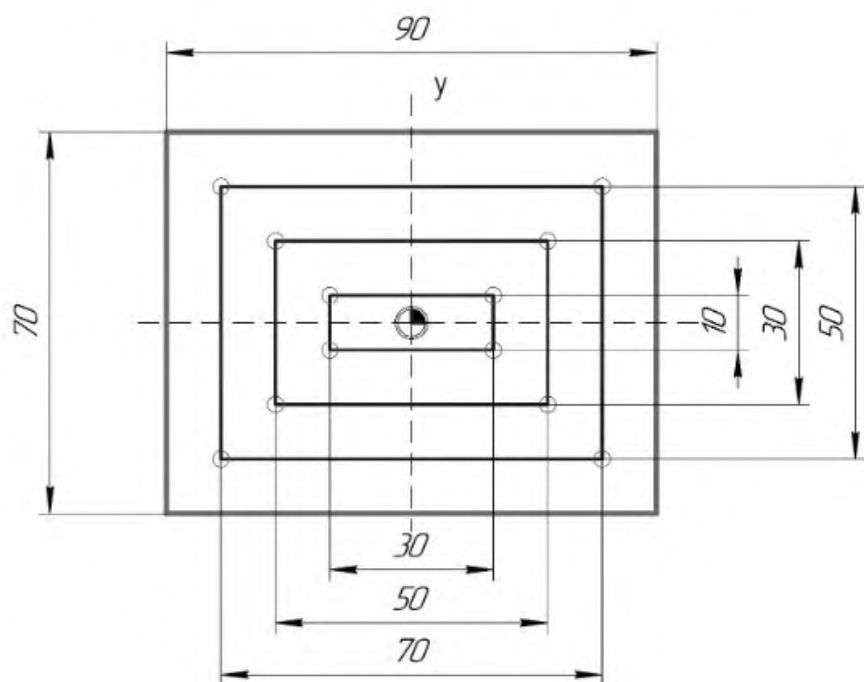
15. Схиртладзе, А. Г. Работа оператора на станках с программным управлением : учебное пособие для вузов / А. Г. Схиртладзе. — Москва : Высшая школа, 2000. — 175 с.

16. Фещенко, В. Н. Токарная обработка : учебное пособие для сред. спец. проф.-тех. училищ / В. Н. Фещенко, Р. Х. Махмутов. — Москва : Высшая школа, 1984. — 288 с.

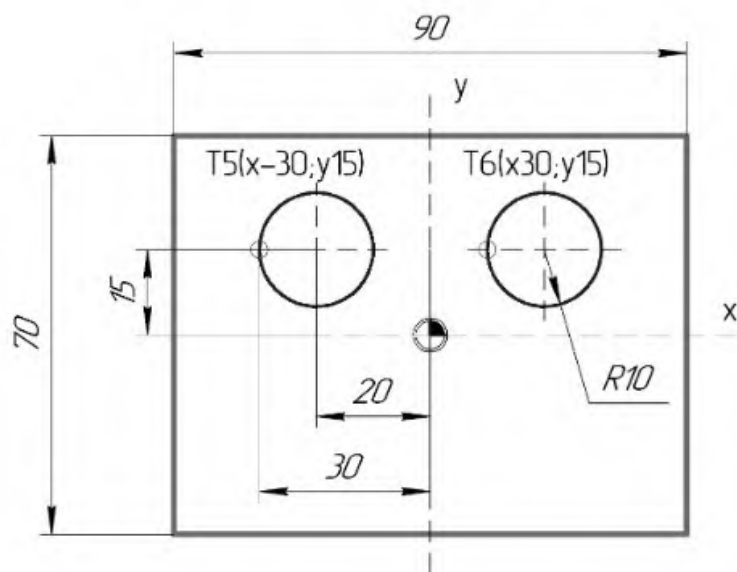
## Эскизы деталей для самостоятельной работы

Эскизы к учебному элементу 5.1.2

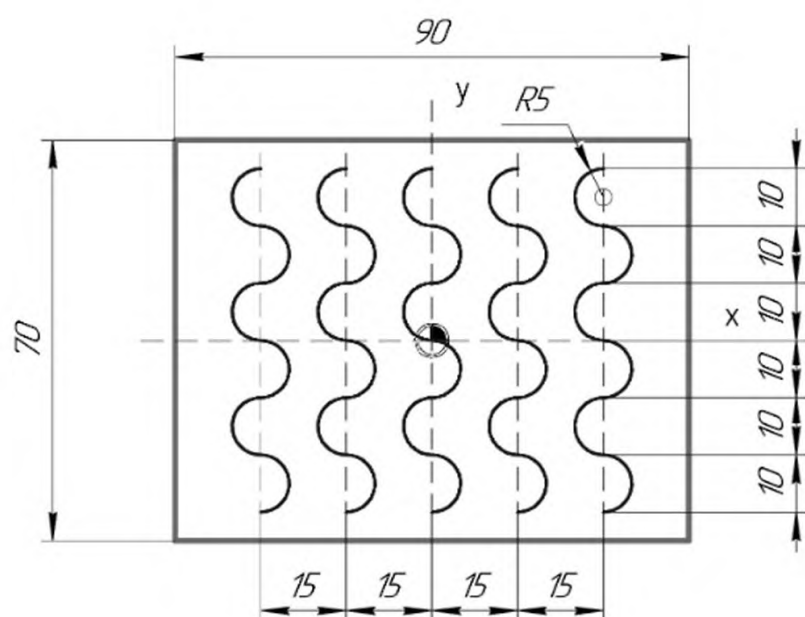
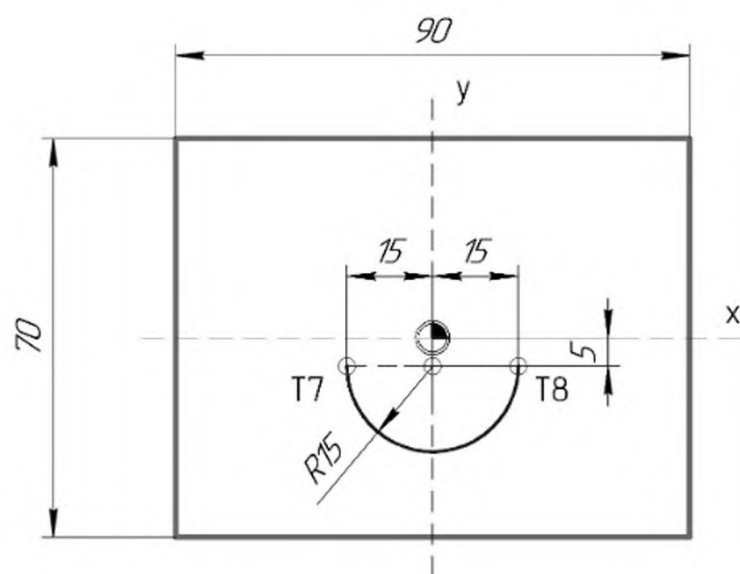
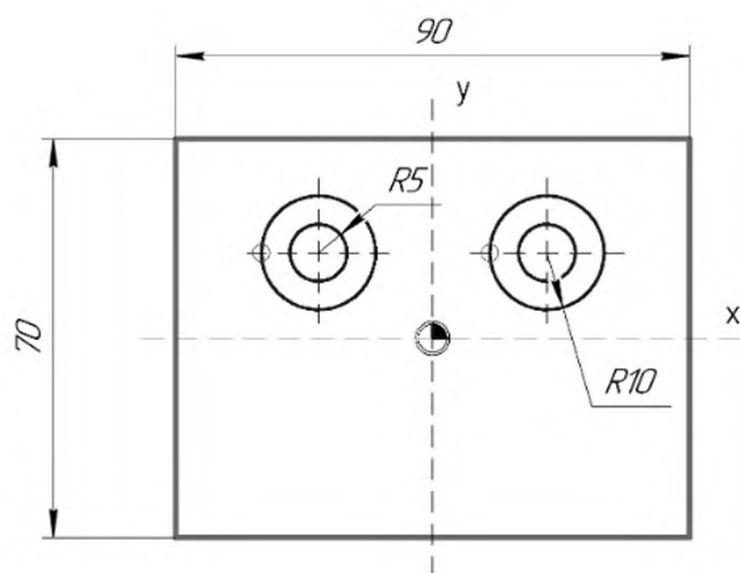




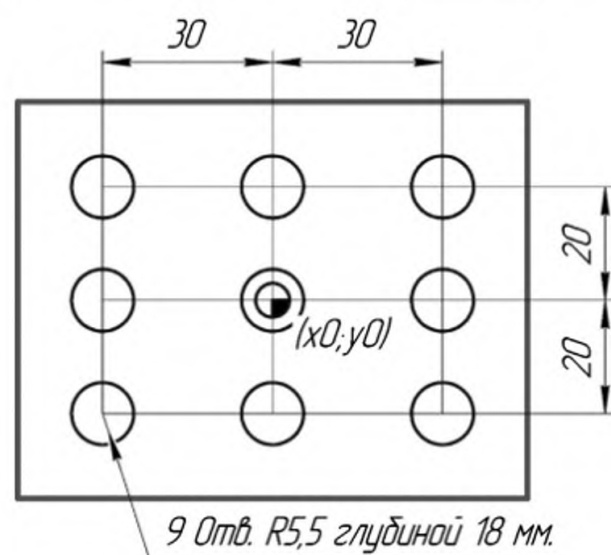
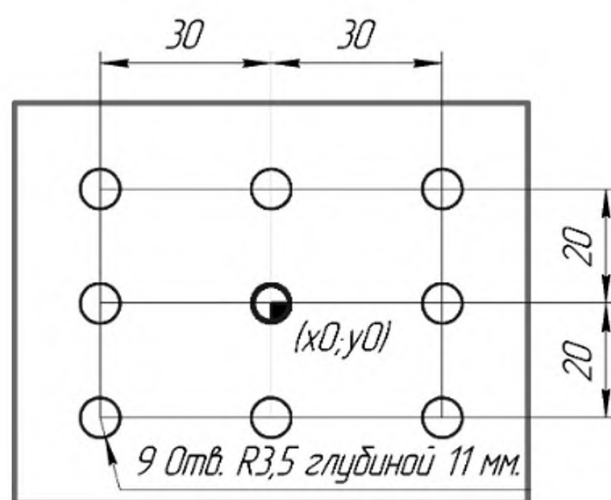
Эскизы к учебному элементу 5.1.3



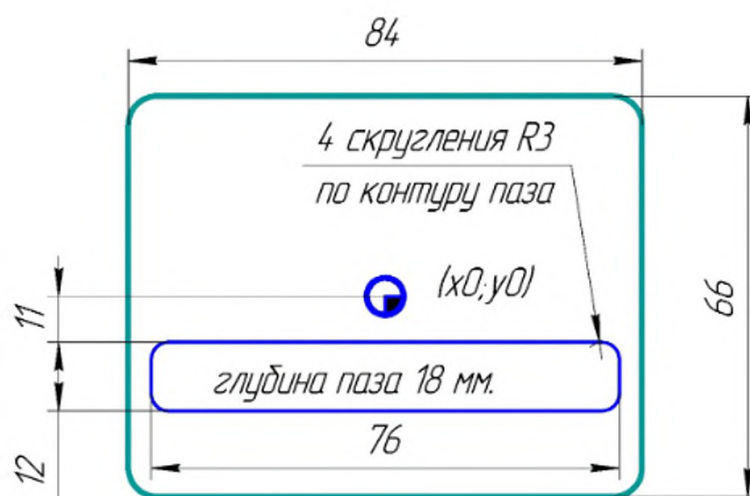




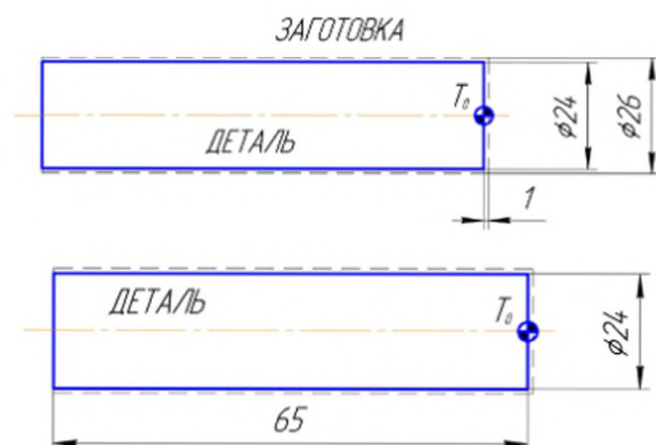
Эскизы к учебному элементу 5.1.4



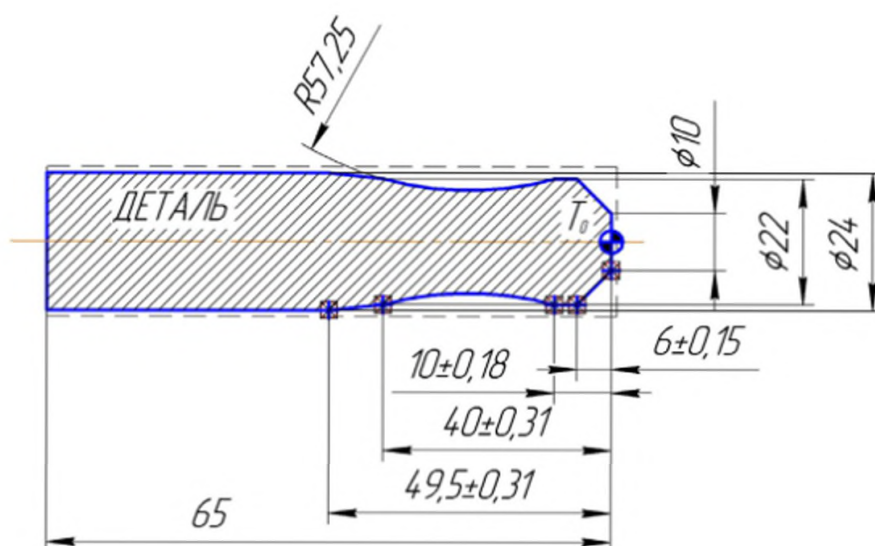
Эскиз к учебному элементу 5.1.5



### Эскизы к учебному элементу 5.2.2



### Эскиз к учебному элементу 5.2.3



## Приложение 2

### Основные термины, формулы и единицы измерения

Термин	Формула или обозначение	Единица измерения
Диаметр обработки	$D$	мм
Скорость резания	$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$	м/мин
Число оборотов шпинделя	$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi D}$	об/мин
Длина обработки	$L$	мм
Мощность резания	$N$	кВт
Сила резания	$P_{\text{рез}}$	Н
Оборотная подача	$S_o$	мм/об
Минутная подача	$S_{\text{мин}} = S_o' \cdot n$	мм/об
Подача на режущую кромку	$S_z = \frac{S_o}{Z} S_z$	мм/об
Глубина резания при точении, растачивании, рассверливании, зенкерования, развертывании	$t = \frac{D-d}{2}$	мм
Глубина резания при сверлении	$t = \frac{D}{2}$	мм
Глубина резания при точении канавок и отрезании	$t = W$ , где $W$ — ширина канавки или длина главной режущей кромки резца	мм



## **Советы по технике безопасности при эксплуатации станков с ЧПУ**

Станок с ЧПУ — это сложный агрегат, состоящий из различных механических узлов, электрических и электронных компонентов. Для обеспечения безопасности внимательно ознакомьтесь с общими правилами эксплуатации станков с ЧПУ.

1. К эксплуатации и ремонту станка допускается только персонал, ознакомленный с соответствующей документацией станка и СЧПУ.

2. Всегда необходимо пользоваться защитными очками и специальной обувью. При необходимости используйте перчатки, пылезащитную маску и средства защиты слуха.

3. При работе на станке не рекомендуется носить кольца, часы, различные украшения и галстуки. Длинные волосы должны быть собраны и прикрыты рабочим головным убором.

4. Эксплуатация станка разрешается лишь в том случае, если вы убедились, что регулярно производилось обслуживание станка и что он находится в отличном техническом состоянии.

5. Необходимо убедиться, что станок заземлен надлежащим образом.

6. Не приступать к работе на станке, если от него исходит необычное или слишком сильное тепло, шум, наблюдается выделение дыма или вибрация. При этом необходимо срочно обратиться к производителям станка или в сервисную службу.

7. Доступ к электрическим компонентам станка разрешается только специально обученному персоналу.

8. Нельзя применять в качестве очистителей и СОЖ ядовитые и воспламеняющиеся вещества.

9. Не открывать защитные дверцы и кожуха, пока какое-либо из устройств станка находится в движении.

10. Зона вокруг станка должна быть сухой и хорошо освещенной.

11. Перед закреплением инструмента необходимо убедиться, что все поверхности устройства крепления инструмента чистые.

12. Не применять в станке изношенные, хрупкие и дефектные инструменты.

13. Не превышать номинальную мощность станка.

14. Не оставлять инструмент и детали в местах, в которых они могли бы соприкоснуться с подвижными частями станка.

15. Регулярно проверять уровень смазки и охлаждающего средства.

16. Во время обработки не предпринимать наладку инструмента или крепление деталей.

17. Поддерживать достаточно безопасное расстояние до всех точек «защемления» (мест изгиба шлангов и проводов) и избегать опасных ситуаций.

18. Обязательно знать расположение клавиш аварийного останова станка.

19. Не оставлять станок без присмотра во время его работы.

20. При контакте с обработанными деталями обращать внимание на наличие острых кромок.

21. Не удалять стружку голыми руками. Использовать для этого крючок или другое приспособление, убедившись в полной остановке частей станка. Не производить очистку станка с помощью воздушного шланга.

22. Не пытаться остановить или затормозить перемещения исполнительных органов станка голыми руками или с помощью приспособлений.

23. Не применять для крепления инструмента и заготовки дефектные или грязные патроны, держатели и приспособления.

24. Запрещается предпринимать какие-либо конструктивные изменения станка без согласования с производителем станка или сервисной службой.

25. Не допускать, чтобы при работе со станком вас отвлекали другие люди.

26. Ни в коем случае не совершать на станке операций, которых вы не понимаете. В случае сомнений обязательно проконсультироваться со специалистом.

27. Никогда не работать внутри станка, если кто-либо работает со стойкой ЧПУ. Перейти в режим редактирования Edit для предотвращения случайного перемещения исполнительных органов станка.

28. Уделять особое внимание перемещениям на ускоренной подаче. Соблюдать безопасное расстояние над поверхностью заготовки для таких перемещений.

29. Перед началом обработки проверять управляющие программы всеми доступными способами.

**Наши книги можно приобрести:**

**Учебным заведениям и библиотекам:**  
в отделе по работе с вузами  
тел.: (495) 744-00-12, e-mail: [vuz@urait.ru](mailto:vuz@urait.ru)

**Частным лицам:**  
список магазинов смотрите на сайте [urait.ru](http://urait.ru)  
в разделе «Частным лицам»

**Магазинам и корпоративным клиентам:**  
в отделе продаж  
тел.: (495) 744-00-12, e-mail: [sales@urait.ru](mailto:sales@urait.ru)

**Отзывы об издании присылайте в редакцию**  
e-mail: [gred@urait.ru](mailto:gred@urait.ru)

Новые издания и дополнительные материалы доступны  
на образовательной платформе «Юрайт» [urait.ru](http://urait.ru),  
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»

*Учебное издание*

**Мирошин Дмитрий Григорьевич,  
Тюгаева Елена Валерьевна,  
Костина Ольга Валентиновна**

# **ТЕХНОЛОГИЯ РАБОТЫ НА СТАНКАХ С ЧПУ**

Учебное пособие для СПО

Формат 70×100 1/16.  
Гарнитура «Charter». Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 15,05

**ООО «Издательство Юрайт»**  
111123, г. Москва, ул. Плеханова, д. 4а.  
Тел.: (495) 744-00-12. E-mail: [izdat@urait.ru](mailto:izdat@urait.ru), [www.urait.ru](http://www.urait.ru)