

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет имени  
Евфросинии Полоцкой»

УДК 621.91.02(075.8)

Бабашинский Михаил Александрович

**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА  
ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ**

Магистерская диссертация

Специальность 1-36 80 02 Инновационные технологии в машиностроении

---

Научный руководитель;  
Попок Н.Н,  
доктор технических наук,  
профессор, заведующий  
кафедрой технологии и  
оборудования  
машиностроительного  
производства.

Допущен к защите

«    » \_\_\_\_\_ 2023г.

Заведующий кафедрой технологии и  
оборудования машиностроительного  
производства, доктор технических  
наук, профессор.

\_\_\_\_\_ Попок Н.Н.

Новополоцк, 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Общая характеристика работы .....</b>	<b>3</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>Глава 1. Аналитический обзор .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Анализ разработок кафедры .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2. Анализ резцовых блоков.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3. Анализ корпусов блочно-модульных фрез.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4. Виды 3D печати, материалы и станки.....</b>	<b>23</b>
<b>Глава 2. Разработка универсальной блочно-модульной фрезы.....</b>	<b>37</b>
<b>2.1 Требования предъявляемые к разработке корпуса фрезы.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2 Конструктивные особенности корпуса фрезы.....</b>	<b>40</b>
<b>Глава 3. Технологические маршруты изготовления корпуса фрезы.....</b>	<b>45</b>
<b>3.1 Технологический маршрут изготовления корпуса фрезы на станках с ЧПУ .....</b>	<b>45</b>
<b>3.2. Технологический маршрут изготовления корпуса фрезы на 3D - принтере.....</b>	<b>53</b>
<b>Глава 4. Результаты испытания фрезы универсальной .....</b>	<b>55</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>58</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>59</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А</b>	
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б</b>	

## Общая характеристика работы

- **Связь работы с научными программами (проектами), темами:** диссертационная работа выполнялась в связи с научно-исследовательской темой

№ 20221019 от 28.06.2022 /Г5 1622 «Разработка научных основ создания высокоэффективных механических, плазменных и аддитивных технологий» кафедры «Технология и оборудования машиностроительного производства»

- **Цель исследования:** разработать и спроектировать модель и опытные образцы универсальной фрезы .
- **Задачи исследования:** проанализировать разработки кафедры по блочно-модульным режущим инструментам; Предложить конструкцию фрезы, в которой используются унифицированный резцовый блок, фрезерные оправки определенного стандарта. Обеспечивающую обработку плоскостей, пазов и уступов.
- **Научная новизна:** заключается в обтекаемой форме корпуса универсальной фрезы в виде сочетаемых торковых поверхностей и взаимозаменяемости резцовых блоков и зажимных элементов. Предлагаемая фреза может работать, как дисковая или с реверсом, как торцовая.
- **Личный вклад магистранта:** Разработаны модели универсальных фрез, изготовлены 3D-печатью и механической обработкой опытные образцы. Проведены испытания фрез.
- **Апробация магистерской диссертации и информация об использовании ее результатов:** была напечатана модель корпуса на 3D-FDM принтере, изготовлена универсальная фреза и проведены ее испытания.
- **Структура и объемы магистерской диссертации:** диссертация состоит из 4 главы и содержит 60 страниц, 47 рисунков, 2 таблицы, 12 использованных литературных источников и 1 электронный ресурс удаленного доступа.

## ВВЕДЕНИЕ

Формирование и развитие научного и образовательного направлений по механической обработке материалов в Полоцком государственном университете имени Евфросинии Полоцкой происходило в несколько этапов [1].

В 1975-1978 гг. научным руководителем, доцентом, к.т.н. Юрием Агафьевичем Новоселовым были начаты исследования механической обработки поверхностей деталей вращающимися (ротационными) режущими инструментами. Новым для Республики Беларусь было исследование процесса фрезоточения, использующего преимущества фрезерования при точении. Координировал это научное направление академик НАН Беларуси Петр Иванович Ящерицин. По результатам исследований в 1983 году Попок Н.Н. была защищена кандидатская диссертация «Исследование процесса ротационного резания принудительно вращающимися инструментами», опубликовано более 50 статей и получено около 20 патентов, осуществлено внедрение разработок на заводах городов. Витебска (Беларусь), Ступино, Вязьмы (Россия) и других при обработке труднообрабатываемых сталей и чугунов, титановых сплавов и углеграфитовых изделий.[1]

В 2021 году изданы, учебно-методические пособия с грифом УМО по образованию в области машиностроительного оборудования и технологий «Теория резания: практикум» (авторы Попок Н.Н., Хмельницкий Р.С., Гвоздь Г.И.) и «Основы технологии машиностроения: практикум» (авторы Попок Н.Н., Хмельницкий Р.С., Бритик Е.В.), а так же в 2022 году издано учебно-методические пособия «Блочно-модульный режущий инструмент, Альбом» и «Технология производства машиностроительных изделий на основе послойного синтеза с использованием 3D - принтера: практикум» (авторы Попок Н.Н., Портянко С.А.).

Однако в современных условиях развития машиностроения требуется дальнейшая систематизация и разработка сборных режущих инструментов модульных конструкций.

## Глава 1 Аналитический обзор

### 1.1. Анализ разработок кафедры

В УО "Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой" разработана гамма блочно-модульных режущих инструментов, включающая токарные проходные, подрезные и расточные резцы, торцовые, концевые и дисковые фрезы, расточные головки, микроборы и патроны. На рисунке 1.1.1 представлены возможные схемы обработки конструктивных элементов и поверхностей деталей блочно-модульным режущим инструментом (БМРИ).[1-12]

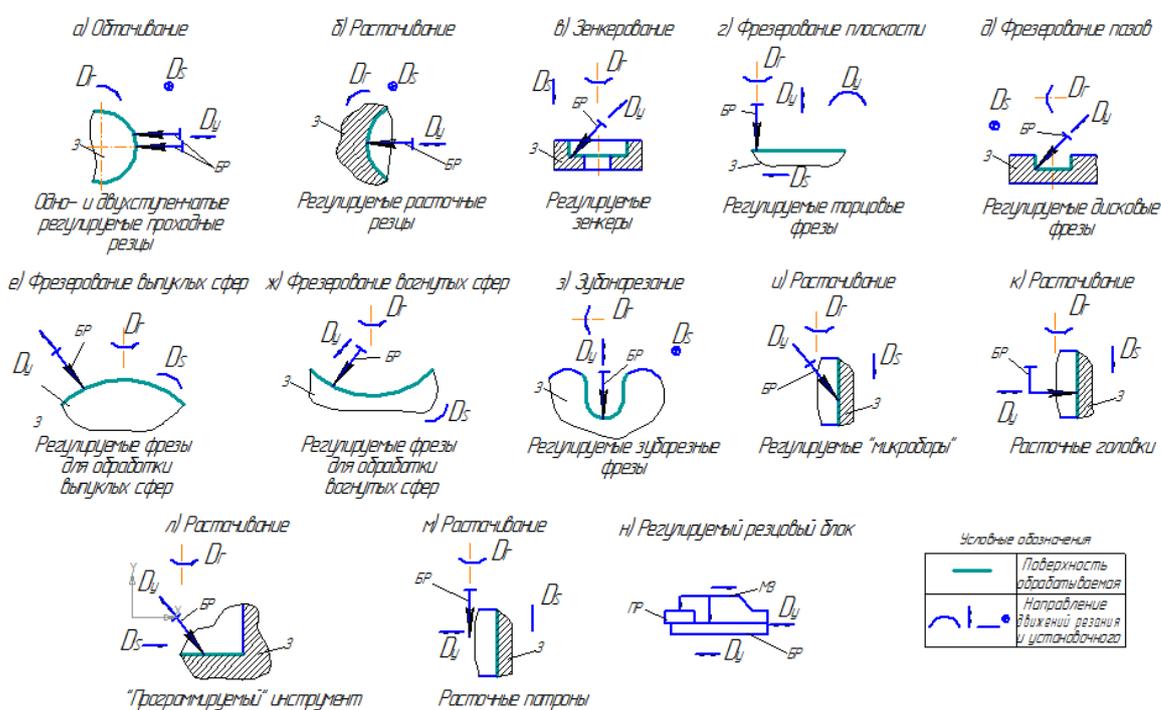


Рисунок 1.1.1 – Схемы видов обработки блочно-модульными режущими Инструментами

Блоки резцовые позволяют обточить и подрезать торцы у цилиндрических деталей (рис.1.1.1, а), расточить отверстие (рис.1.1.1, б), зенкеровать как цилиндрические так и плоские поверхности отверстия (рис. 1.1, в), фрезеровать плоские (рис.1.1.1,г), пазовые (рис.1.1.1, д), сферические выпуклые (рис.1.1.1, е) и вогнутые (рис.1.1, ж) поверхности, нарезать зубья (рис.1.1.1, з), растачивать на точный размер диаметр отверстия «микроборами» (рис.1.1.1, и), расточными головками (рис.1.1.1, к), «программируемым» инструментом со встроенным

механизмом перемещения лезвия (рис.1.1.1, л), расточными патронами (рис.1.1.1, м). В основе всех конструкций БМРИ лежит регулируемый резцовый блок (рис.1.1.1, н) с надежным закреплением пластины режущей (ПР). Инструмент совершает главное движение резания  $D_r$  и движения подачи  $D_s$ , а также установочное движение  $D_y$ . [1]

В основе разработанной гаммы БМРИ находятся следующие положения [5, 6]:

1. Конструктивная схема инструмента строится по блочно-модульному принципу. Согласно этому принципу инструмент состоит из блоков и модулей – конструктивно и функционально законченных единиц. Ограниченная номенклатура блоков должна обеспечивать множество компоновочных схем инструмента одного типа. Присоединительные элементы блоков и модулей выполняются унифицированными.
2. Инструментальные блоки и модули должны обеспечить возможность построения конструктивных схем различных типов инструментов, т.е. обладать достаточной для этого степенью универсальности.
3. Блоки и модули инструментов должны быть конструктивно просты и технологичны в изготовлении.
4. Конструктивная схема инструмента должна предоставлять возможность быстрой перенастройка с целью изменения схемы резания, т.е. обладать необходимой степенью гибкости.
5. Блочно-модульная конструкция инструмента должна обеспечивать снижение затрат на изготовление и эксплуатацию при различных типах производства по сравнению традиционным инструментом, то есть обладать необходимой степенью мобильности.

Таким образом, основными принципами разработки конструкции блочно-модульных режущих инструментов являются модульность, унифицируемость, универсальность, гибкость, технологичность и мобильность. [1-12]

Формирование БМРИ включает (рис. 1.1.2):

- – выбор модуля корпусного исходя из выбранной схемы обработки (см. рис. 1.1.1);
- – выбор блока резцового с механизмом зажима пластины режущей;
- – выбор типа пластины режущей исходя из обрабатываемого материала, конфигурации конструктивного элемента и поверхности детали;
- – выбор БМРИ с механизмом зажима блока резцового и согласованного с посадочными элементами станочного приспособления.

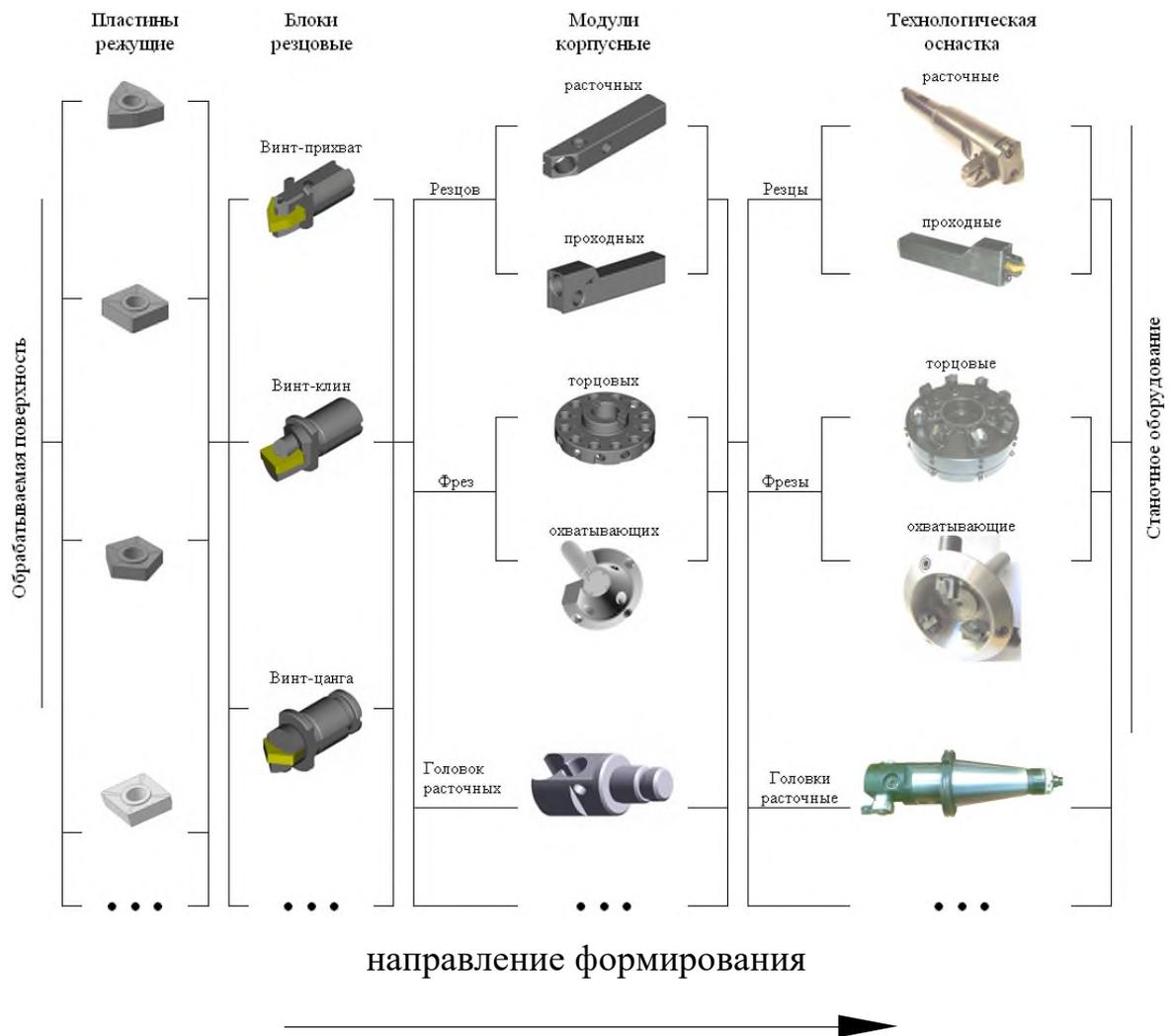


Рисунок 1.1.2– Схема формирования блочно-модульного режущего инструмента

Была предложена схема формирования БМРИ. [1]

Конструктивная модель детали:

$$D_i = \{K(KЭ_i^n), КП(KЭ_i^n), СКП(KЭ_i^n), C(KЭ_i^n) | i^n = 1 \dots, I^n; n = 1 \dots, N\}$$

где  $D_i$  - рассматриваемая  $i$ -ая деталь;

$K(KЭ_i^n)$  - код конструктивного элемента;

$КП(KЭ_i^n)$  - комплект параметров  $KЭ_i^n$  ;

$СПК(KЭ_i^n)$  - структура комплектов параметров  $KЭ_i^n$  ;

$C(KЭ_i^n)$  - структура связи  $KЭ_i^n$  ;

$KЭ_i^n$  -  $i$ -ый конструктивный элемент, принадлежащий уровню  $n$ ;

$N$  – количество уровней.

Модель обработки резанием:

$$OP = \{K(OP_i^n), КП(OP_i^n), СКП(OP_i^n), C(OP_i^n) | i^n = 1 \dots, I^n; n = 1 \dots, N\},$$

где  $K(OP_i^n)$  - код обработки резанием;

$КП(OP_i^n)$  - комплект параметров обработки резанием;

$СКП(OP_i^n)$  - структура комплектов параметров обработки резанием;

$C(OP_i^n)$  - структура связи объектов и параметров обработки резанием.

Модель режущего инструмента:

$$PI = \{K(PI_i^n), КП(PI_i^n), СКП(PI_i^n), C(PI_i^n) | i^n = 1 \dots, I^n; n = 1 \dots, N\}$$

где  $K(PI_i^n)$  - код режущего инструмента;

$КП(PI_i^n)$  - комплект параметров режущего инструмента;

$СКП(PI_i^n)$  - структура комплектов параметров режущего инструмента;

$C(PI_i^n)$  - структура связи параметров режущего инструмента.

Модель металлорежущего станка:

$$MPC = \{K(MPC_i^n), КП(MPC_i^n), СКП(MPC_i^n), C(MPC_i^n) | i^n = 1 \dots, I^n; n = 1 \dots, N\}$$

где  $K(MPC_i^n)$  - код металлорежущего станка;

$КП(MPC_i^n)$  - комплект параметров металлорежущего станка;

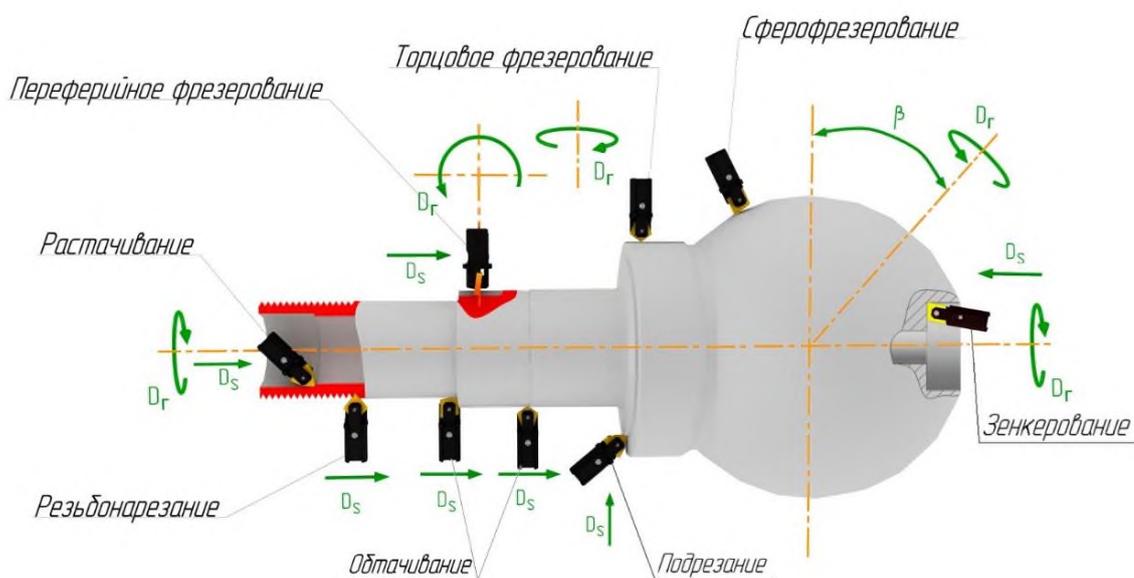
$СКП(MPC_i^n)$  - структура комплектов параметров металлорежущего станка;

$C(MPC_i^n)$  - структура связи параметров металлорежущего станка.

Отбор наилучших вариантов по критериям применяемости и организационной устойчивости осуществляется путем постепенного накопления базы данных по элементам технологической системы, статистической их обработки и унификации.[1-7]

Многофункциональность предлагаемой кафедрой технологической оснастки иллюстрируется (рис.1.1.3), на котором представлены виды обработки различных поверхностей комплексных деталей.

а)



б)

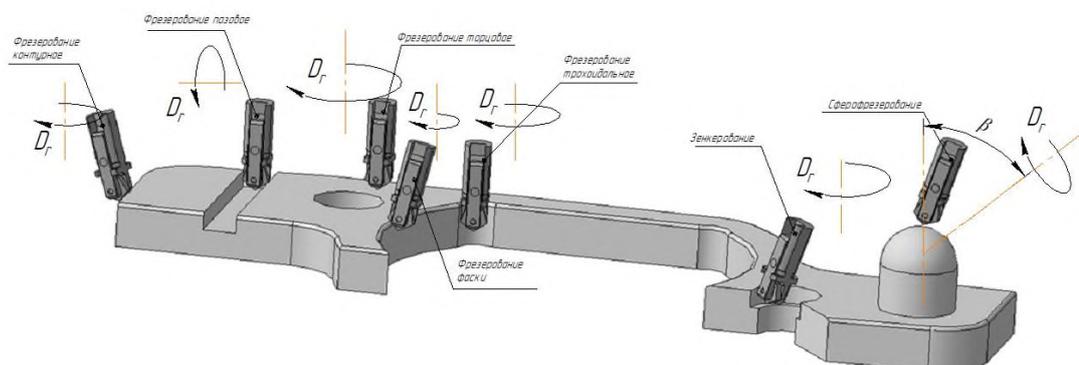


Рисунок 1.1.3 – Схемы обработки различных поверхностей деталей с использованием многофункциональной технологической оснастки на токарном (а) и фрезерном (б) станках с ЧПУ

В зависимости от расположения унифицированного блока резцового в модуле корпусном БМРИ и сообщаемым движениям заготовке и инструменту реализуется та или иная схема резания и обеспечивается обработка заданного конструктивного элемента и поверхности детали. БМРИ может быть установлен с помощью присоединительного модуля в инструментальные магазины токарного (рис. 1.1.3, а) и фрезерного (рис. 1.1.3, б) станков с ЧПУ.

Отличительными особенностями БМРИ и РРИ являются [7-12] :

- широкий диапазон размеров фрезеруемых поверхностей и растачиваемых отверстий (диаметр отверстий от 10 до 360 мм).
- применение стандартных режущих пластин различных типов с возможностью регулировки (установки) резцовых блоков, в том числе микрометрической в расточных головках;
- использование унифицированных составных модулей, в частности резцового блока с надежным закреплением режущей пластин механизмом зажима, близким по конструкции к типу D по ИСО;

Использование в разных типах режущих инструментов одного и того же взаимозаменяемого резцового блока обеспечивает экономию финансовых средств, как на этапе серийного изготовления режущих инструментов, так и на этапе эксплуатации.[1]

Экономичность режущего инструмента, построенного на основе модульных конструкций, достигается за счет следующих основных составляющих. Во-первых, при отказе модульного инструмента в период эксплуатации производится замена только резцового блока, а не всего инструмента. Резцовый блок дешевле цельного, составного и стандартного сборного инструмента. Во-вторых, более дорогой модульный инструмент при отказе резцового блока, его замене и повторного введения в эксплуатацию становится дешевле вновь применяемых стандартных сборных инструментов. В-третьих, межтиповая унификация резцовых блоков при широкой номенклатуре режущих инструментов (резцов, сверл, фрез, расточных и зуборезных головок и т.д.) позволяет ограничить количество корпусных модулей и сократить затраты на них. В-четвертых,

повторное (после реновации) использование модульного инструмента при производстве изделий снижает себестоимость последних в пределах 5%, что также повышает экономичность инструмента.[1]

Типовой график, отражающий результаты анализа применения БМРИ приводится на (рис.1.1.4).

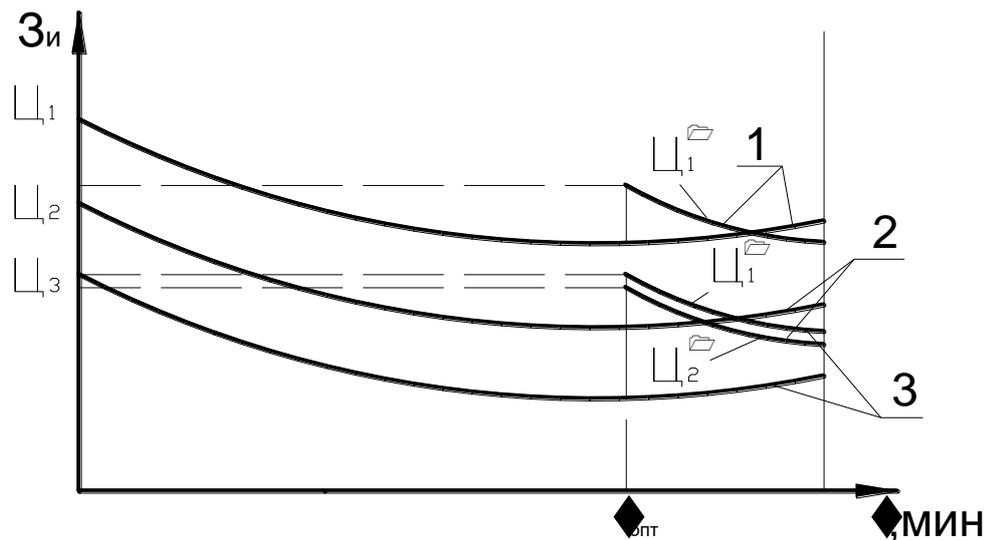


Рисунок 1.1.4 – Зависимость затрат на инструмент  $Z_{и}$  в стоимости механообработки от времени эксплуатации  $\tau$  режущего инструмента: 1 – модульный зарубежный; 2 – БМРИ; 3 – стандартный сборный;  $C_1, C_2, C_3$  - цена инструмента 1, 2, 3;  $C'_1, C'_2, C'_3$  – цена заменяемого модуля (инструмента)

Как видно из графика, при относительно высокой начальной цене блочно-модульного режущего инструмента повторное его введение в производство после отказа резцового блока и его замене приводит к снижению цены в пределах 30%.

Таким образом, разработанные основные положения и принципы проектирования систем БМРИ и РРИ на основе унифицированного резцового блока обеспечивают обработку разнообразных конструктивных элементов и поверхностей деталей значительную экономию финансовых затрат как при изготовлении, так и при эксплуатации режущих инструментов.[1]

## 1.2. Анализ резцовых блоков

Резцовый блок представляет собой сборную конструкцию, в которую входит: державка, прихват, штифт, крепежный винт и режущая пластина.

Схема сборки резцового блока представлена на (рис. 1.2.1)

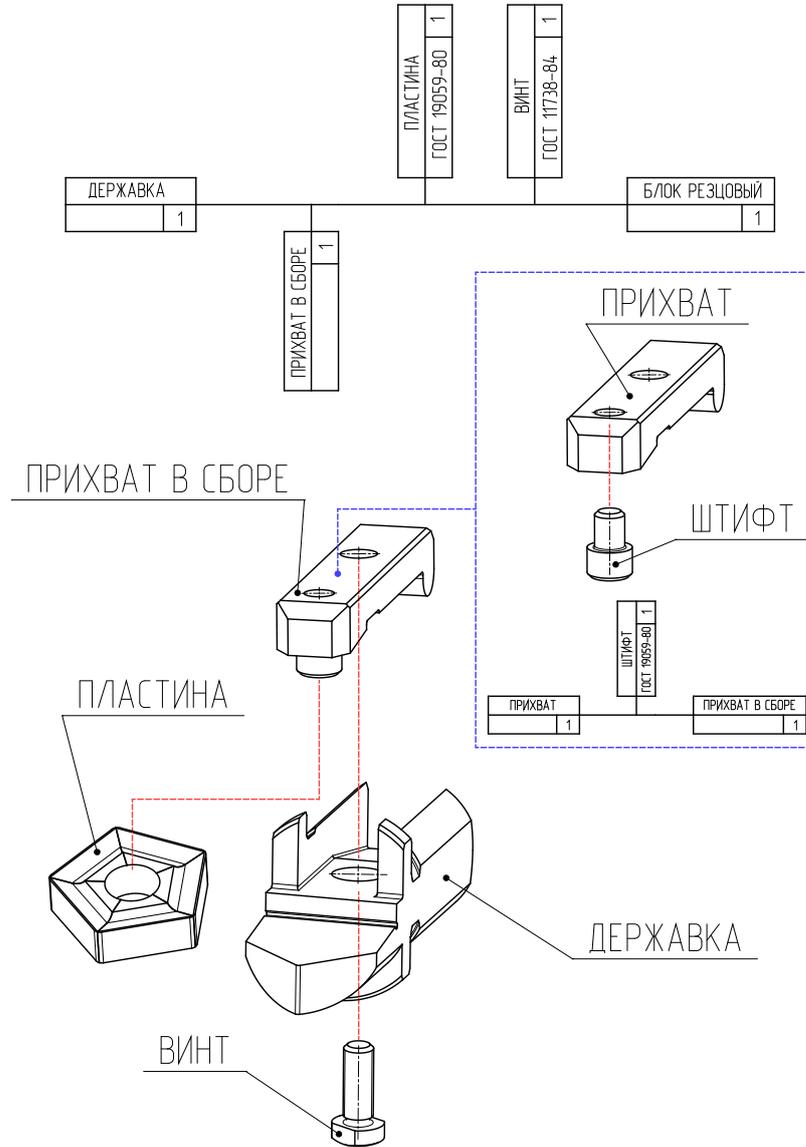


Рисунок 1.2.1 – Технологическая схема сборки блока резцового

В блоке на (рис.1.2.1) режущая пятигранная пластина 1 с отверстием устанавливается в сквозном пазу корпуса 2 [7, 8]. Зажим пластины по ее передней поверхности осуществляется прихватом 3 посредством винта 5. Одновременно, штифтом 4, запрессованным в отверстии прихвата 3, пластина базируется и поджимается по цилиндрической поверхности ее отверстия. Для обеспечения

смещения прихвата и поджима пластины к базирующим поверхностям паза корпуса в последнем выполнен скос д. Блок резцовый, для точной установки его вылета в корпусе инструмента, снабжается регулирующим элементом – винтом 6.

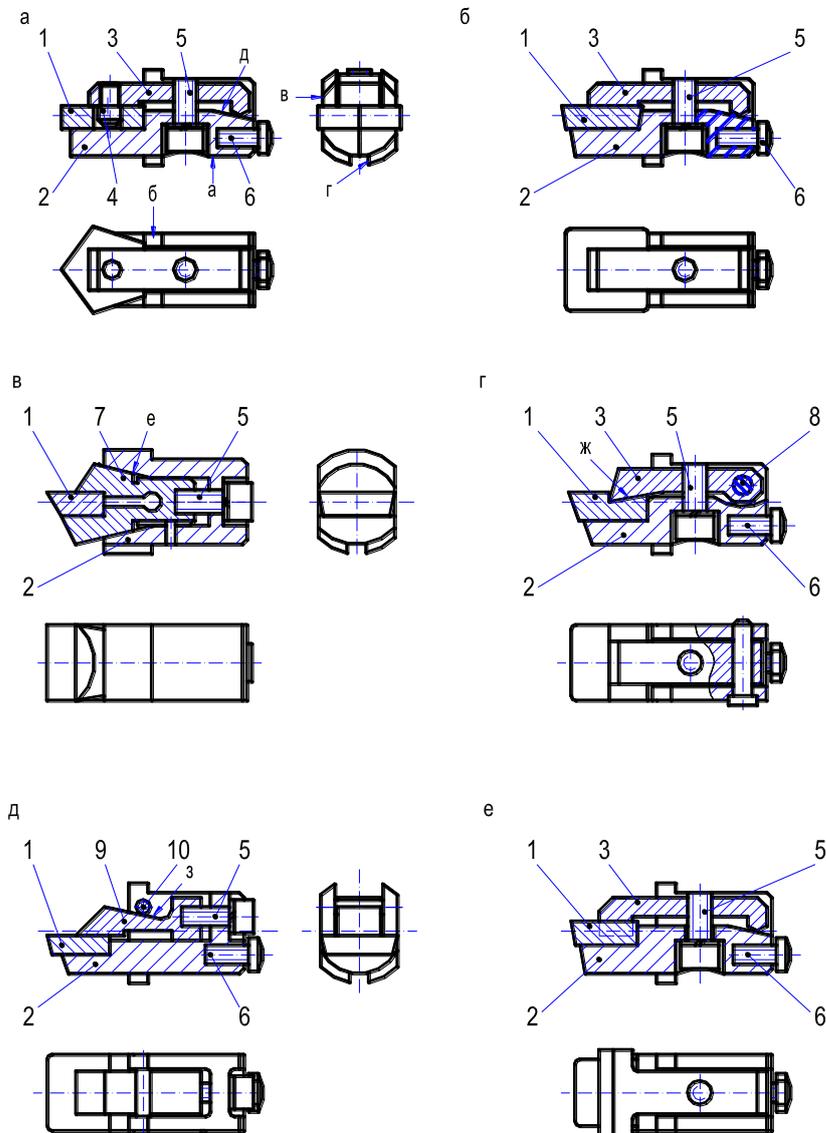


Рисунок 1.2.2– Конструктивные схемы резцовых блоков: а, б, е – с «тянущим» прихватом; в и д – с цанговым и полуцанговым зажимом пластины; г – с прихватом

В резцовом блоке на (рис. 1.2.2, б) используется четырехгранная режущая пластина 1 без отверстия. Аналогично предыдущей конструкции зажим пластины осуществляется по ее передней поверхности при помощи прихвата 3 посредством винта 5. Пластина базируется в сквозном пазу корпуса 2. Такая конструкция может быть использована для относительно небольших силовых нагрузок. Регулировка резцового блока на размер осуществляется винтом 6.[1]

Конструкция блока на (рис. 1.2.2, в) содержит цанговый (клиновой) зажим. Режущая пластина 1 устанавливается в паз цанги 7. Цанга базируется в конусном отверстии е корпуса 2. Смещение цанги 7 с одновременным зажимом пластины осуществляется посредством винта 5. Такая схема зажима твердосплавной пластины без отверстия более надежна и выдерживает большие силовые нагрузки по сравнению с конструкцией на рисунке 1, б.[1]

На (рис.1.2.2, г) представлена конструкция резцового блока, в которой используются пластины 1 с «выемкой» ж на ее передней поверхности. Зажим пластины в данной конструкции осуществляется прижимом 3 по поверхности «выемки». Прижим 3 выполнен «качающимся» на оси (штифте) 8, закрепленной в корпусе 2 блока. Перемещение (поворот) прижима осуществляется посредством винта 5.[1]

В блоке на (рис.1.2.2, д) крепление пластины 1 в сквозном пазу корпуса 2 осуществляется поступательно перемещающимся пружинным зажимом 9 типа полуцанги (клина). Зажим перемещается в пазах корпуса посредством винта 5. При своем горизонтальном перемещении зажим наклонной плоскостью з контактирует с цилиндрической поверхностью штифта 10, запрессованного в корпусе 2. В результате этого контакта возникает вертикальная составляющая силы, развиваемой винтом, которая приводит к вертикальному смещению консольной части зажима и закреплению режущей пластины.[1]

Конструкция резцового блока на (рис.1.2.2, е) аналогична конструкции блока на (рис.1.2.2, б). Однако в отличие от последнего для повышения точности базирования и надежности крепления пластины 1 на прихвате 3 выполнен паз, охватывающий боковые поверхности пластины. Такой паз препятствует смещению пластины в направлении, перпендикулярном продольной оси блока. Смещение прихвата при креплении пластины осуществляется посредством винта 5.[1]

На кафедре было разработаны различные резцовые блоки, под конкретные режущие пластины.

### 1.3. Анализ корпусов блочно-модульных фрез

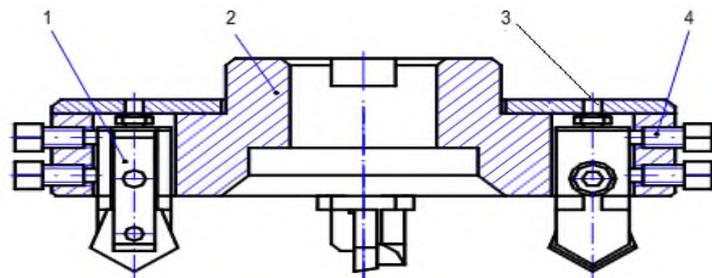
Спроектировав резцовый блок, разработчику необходимо выбрать тип корпуса инструмента. Это может быть корпус фрезы, расточной головки, проходного резца и т.д.

Выбор модуля корпусного может осуществляться как вручную, при этом пользователь выбирает необходимый корпус из предложенных, так и автоматически, при этом в начале процесса автоматизированного проектирования БМРИ необходимо указать вид обработки. В таком случае программа автоматически предложит корпус, соответствующий указанному типу обработки.

#### Инструментальные системы блочно-модульных режущих инструментов.

На рисунке 1.3.1а, представлена конструкция торцевой фрезы. Резцовые блоки 1 устанавливаются в отверстиях корпусного модуля 2. Блоки крепятся в корпусном модуле установочными винтами 3. В корпусном модуле выполнено нормализованное посадочное отверстие для установки инструмента на инструментальную оправку.[1]

а)



б)

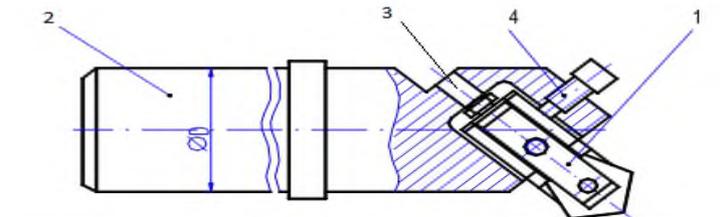


Рисунок 1.3.1 – Конструктивные схемы режущих инструментов:  
а – фрезерных; б – расточных: 1 – блок резцовый, 2 – корпус, 3 – механизм регулировочный, 4 – механизм зажимной.

Расточной резец, представленный на рисунке 1.3.1,б, имеет корпусной модуль, выполненный в виде хвостовика 2. В отверстии хвостовика установлен резцовый блок 1, закрепленный посредством винта 3. Установка блоков на размер также осуществляется с помощью регулировочного винта.

На рис. 1.3.2 представлена конструкция сборного проходного резца. Резцовый блок 1 установлен в отверстии корпусного модуля 2 (державке). Крепление блока осуществляется прижимной планкой 3 посредством винта 4. Регулирующий элемент из конструкции исключен ввиду ненужности.[1-12]

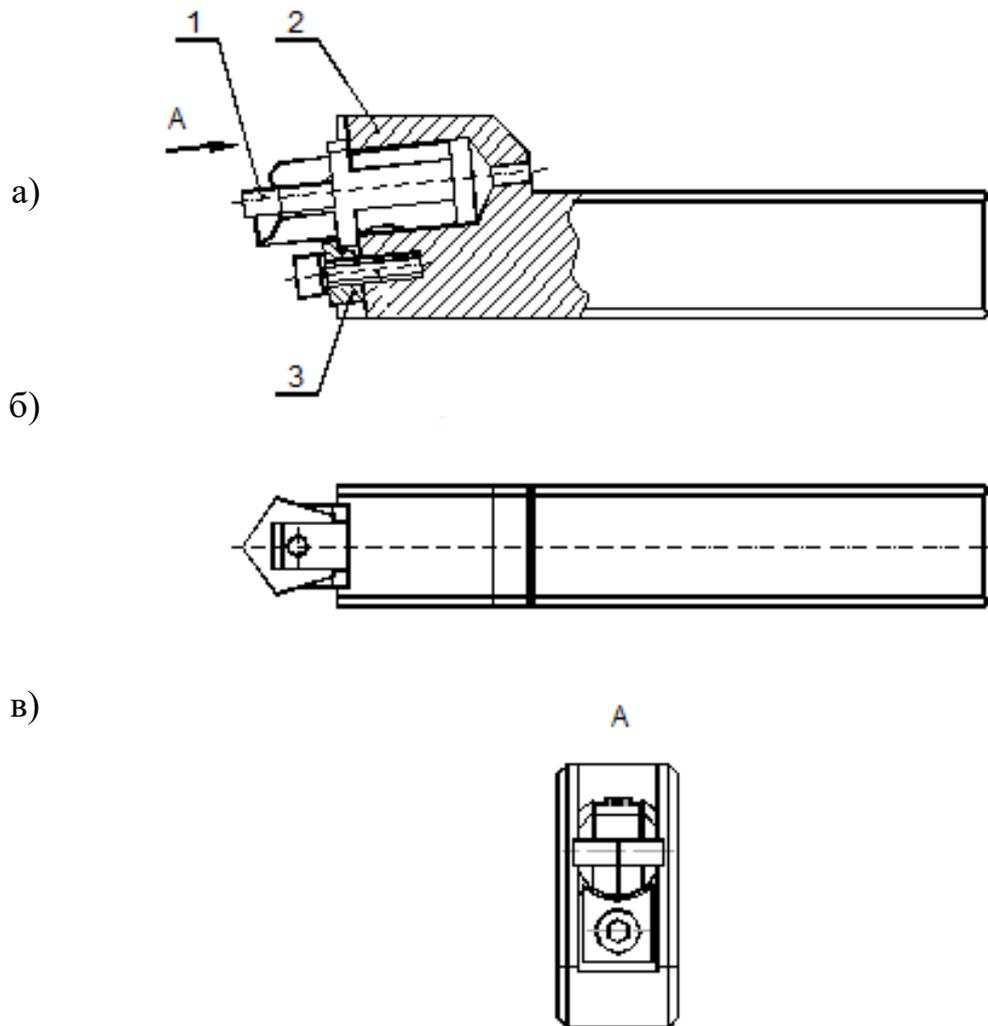


Рисунок 1.3.2 – Конструктивная схема токарного резца: а – вид с боку, б – вид сверху, в – вид А; 1 – блок резцовый, 2 – корпус, 3 – механизм зажимной.

Резец может быть выполнен со ступенчатым расположением двух резцовых блоков, один из которых регулируется (рис. 1.3.3)

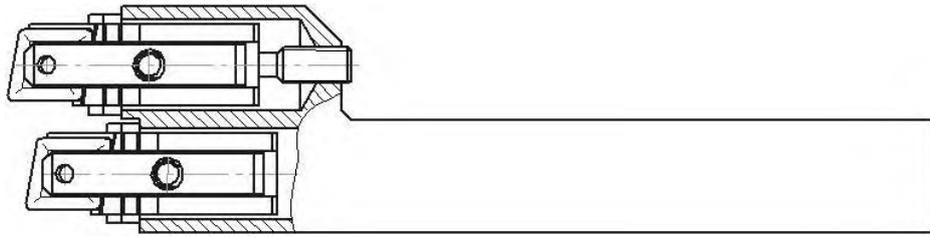


Рисунок 1.3.3 – Конструктивная схема резца с двухступенчатым расположением резцовых блоков

Блоки резцовые могут быть размещены в дисковой фрезе, как показано на рис. 1.3.4, охватывающей фрезе (рис. 1.3.5), зуборезной головке (рис. 1.3.6) и других типах режущих инструментов.

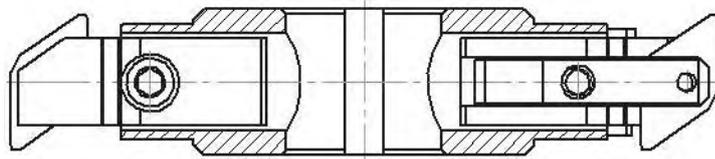


Рисунок 1.3.4 – Конструктивные схемы фрезы дисковой

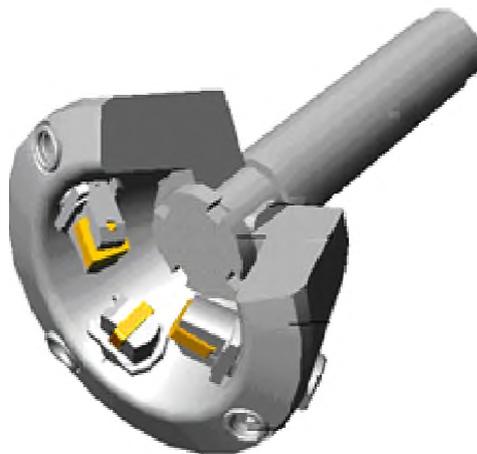


Рисунок 1.3.5– Конструктивная схема охватывающей фрезы

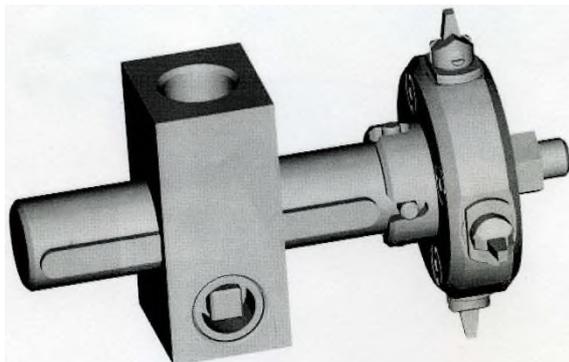
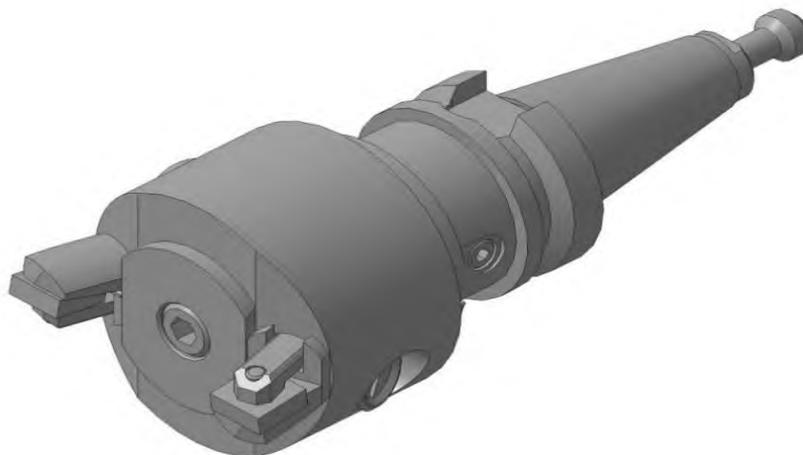


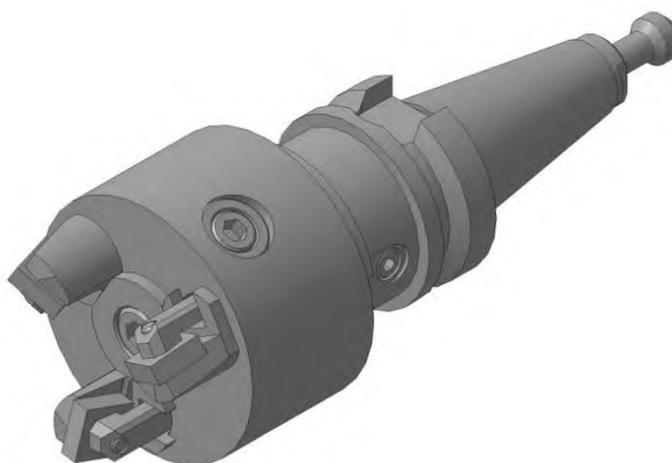
Рисунок 1.3.6– Конструктивная схема зуборезной головки[1]  
Для применения БМРИ на современных станках с ЧПУ разработаны

зенкеры (рис. 1.3.7, а), фрезы концевые (рис. 1.3.7, б) и дисковые (рис. 1.3.7, в) с установкой на хвостовик В30 и диаметром, не превышающем 63 мм

а)



б)



в)



Рисунок 1.3.7 – Конструктивные схемы зенкера (а), торцевой фрезы (б),  
дисковой фрезы (в).[1]

Новым направлением в развитии блочно-модульных режущих инструментов является использование при их изготовлении аддитивных

технологий (технологий послойного синтеза). На рисунке 1.3.8 представлены 3D модели конструкций зенкера (рис. 1.3.8, а), расточного патрона (рис. 1.3.8, б), дисковой (рис. 1.3.8, в) и червячной фрез (рис. 1.3.8, г), полученные «гибридным» методом, т.е. отдельные детали режущих инструментов изготовлены методом послойного синтеза, а при их сборке использовался традиционный метод пригонки, прежде всего резьбовых соединений. [1-12]

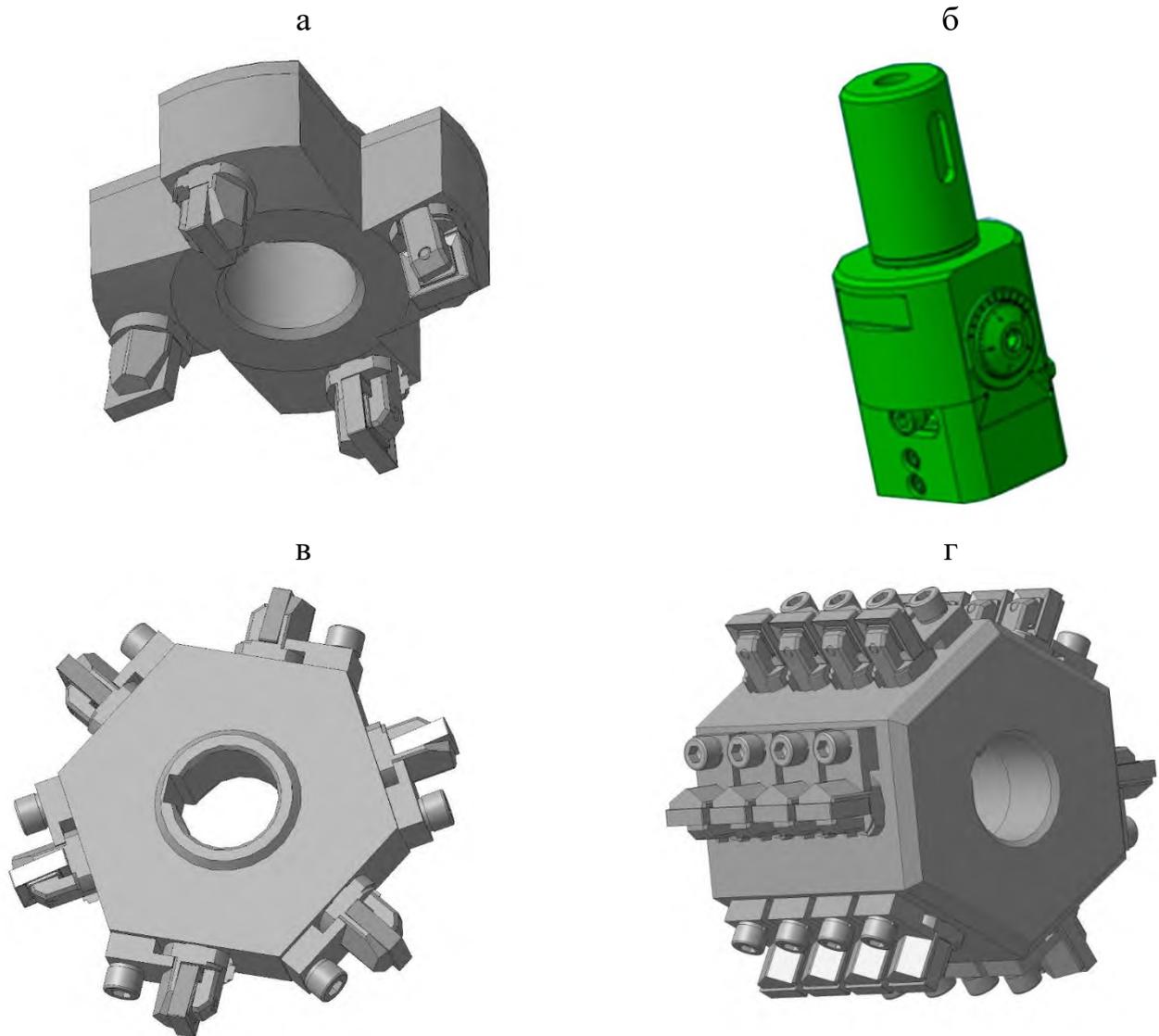


Рисунок 1.3.8 3D-модели конструкций зенкера (а), расточного патрона (б), дисковой (в) и червячной (г) фрез[1]

Операция сборки корпуса и режцовых блоков должна осуществляться в соответствии с технологической схемой сборки. На рисунке 1.3.9 изображена технологическая схема сборки фрезы торцовой. Технологическая схема сборки

фрезы торцевой построена по тому же принципу, что и блока резового. Детали, входящие в сборку, отображаются блоками сверху технологической схемы, сборочные единицы отображаются блоками внизу технологической схемы.[1]

Сборка фрезы торцевой начинается с размещения зажимов в отверстия корпуса фрезы. Затем вставляются блоки резовые, устанавливаются планки, которые крепятся винтами. К торцевой поверхности корпуса винтами с шайбами крепится фланец, в который вставляются регуляторы для регулирования положения блоков в корпусе. Регуляторы крепятся к фланцу винтами.

Кроме технологической схемы сборки торцевой фрезы разработана технологическая схема сборки расточной головки.[1]

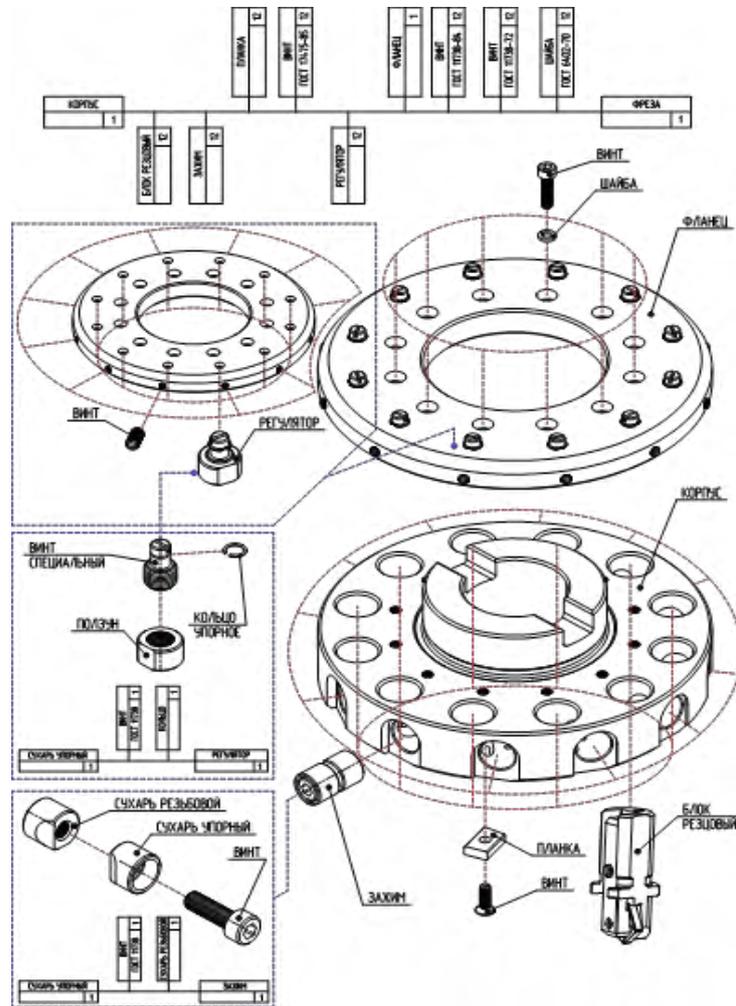


Рисунок 1.3.9 – Технологическая схема сборки фрезы торцевой

Технологическая схема включает сборку блока резцового по схеме; блок резцовый вставляется в ползун; ползун в свою очередь монтируется в модуле корпусном .

После выбора всех составляющих: пластины режущей, модуля зажимного, блока резцового, корпусного модуля, программа проектирования в автоматическом режиме без участия пользователя в соответствии с предложенной технологической схемой сборки, осуществляет проектирование блочно-модульного режущего инструмента.[1-12]

Обобщенная схема формирования блочно-модульного режущего инструмента представлена на рис. 1.3.10.

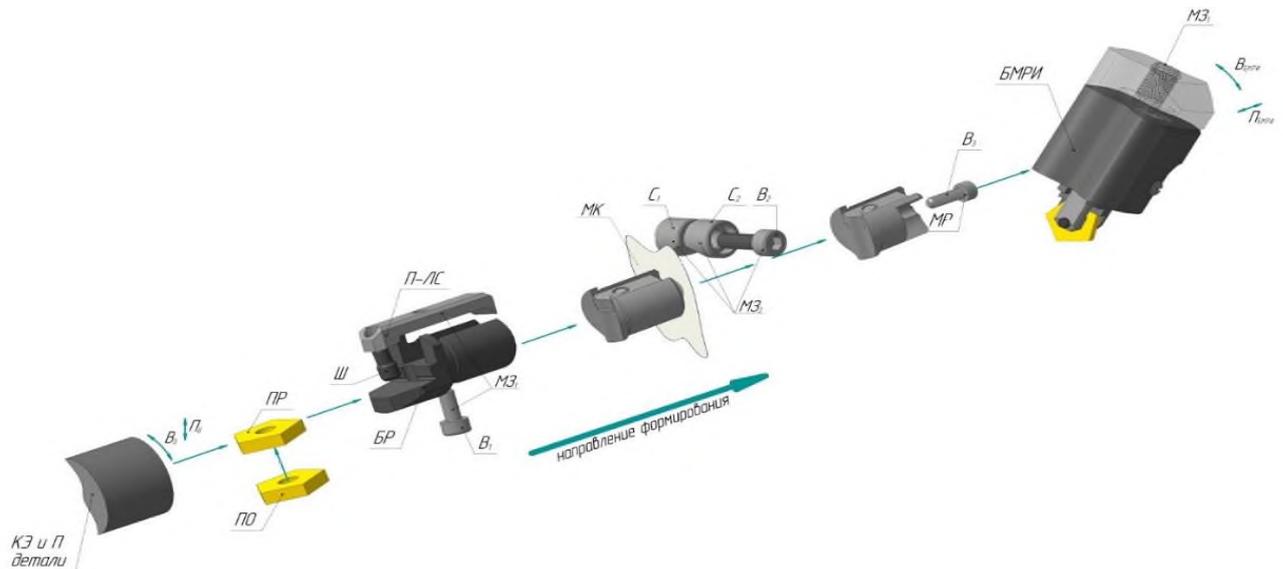


Рисунок 1.3.10 – Схема формирования элементов обобщенного БМРИ:[1]

КЭ – конструктивный элемент, П – поверхность, Пд и Вд – поступательное и вращательное движения детали, ПР – пластина режущая, ПО – пластина опорная, БР – блок резцовый, Ш – штифт, МЗ1 – модуль зажимной БР, П-ЛС – прихват-ломатель стружки, В1 – винт 1, МК – модуль корпусной, МЗ2 – модуль зажимной БР, С1 и С2 – сухари 1 и 2, В2 – винт 2, МР – модуль регулировочный, В3 – винт В3, МЗ3 модуль зажимной БМРИ, БМРИ – блочно-модульный режущий инструмент, П<sub>БМРИ</sub> и В<sub>БМРИ</sub> – поступательное и вращательное движения БМРИ

Схема является обобщенной, потому что она включает последовательную выбор и сборку унифицированных пластин, режущих (ПР), пластин опорных

(ПО), блоков резцовых (БР), модулей зажимных (МЗ), корпусных (МК), регулировочных (МР), возможно балансировочных (МБ), которые позволяют сформировать различные типы режущих инструментов и обеспечить за счет движений детали и инструмента обработку требуемой поверхности или конструктивного элемента. Эта схема описывается графом формирования с указанием конструктивных и геометрических параметров, составляющих модулей, в котором вершина  $\Gamma$  определяет конструктивные элементы БР, МК, МЗ и т.д., ребро  $P$  представляет собой подмножество вершин графа  $\Gamma$ , определяющих параметры конструктивных элементов – линейные и угловые размеры и т.п.[1-12]

#### **1.4. Виды 3D печати, материалы и станки**

3D-принтеры позволяют существенно сократить время, затрачиваемое на каждый проект. В отличие от традиционных методов производства, при использовании аддитивных технологий на весь процесс печати потребуется от нескольких недель или дней, а основную часть моделей можно напечатать за считанные часы. Некоторые производители решили оптимизировать складские ресурсы, начав изготовление деталей на заказ. Данный подход позволяет вывести массовое производство на новый уровень: теперь не нужно хранить на складе множество деталей, ведь можно их просто распечатывать по мере необходимости, сразу же отправляя на продажу.[13]

##### **Качество продукции**

Современные 3D-принтеры демонстрируют высокое качество выпускаемой продукции. На наш взгляд, качество зависит от следующих характеристик устройства:

Фотополимерная печать. Данная технология позволяет получить максимально возможное качество готовой продукции.

Технология FDM. Несмотря на то, что FDM-принтеры пользуются спросом, они просто не могут создать детализацию выше 100 мкм.

Корпус из металла. При выборе FDM-принтеров стоит отдавать предпочтение моделям, корпус которых изготовлен из металла. Такие принтеры демонстрируют лучшее качество изделий при высокой скорости печати.

Независимо от того, какая модель принтера была выбрана, готовая продукция, напечатанная при низкой скорости и качественных материалах, практически не отличается от произведенной на высокоскоростном оборудовании.[13]

Таким образом, можно и на недорогих принтерах добиться достойного качества печати, используя качественный филамент на невысоких скоростях.

##### **Точность копий**

Точность трехмерной печати – это минимальная допустимая высота наносимого слоя. Современные устройства могут выдавать высокое качество до

20 микрон, но для реального получения прототипов такой точности пользователю потребуется соблюдать определенные условия.

В первую очередь точность готовых копий зависит от самого 3D-принтера – от его технических характеристик, компоновки и пр. Не стоит полагаться только на значение высоты слоя, которое указано в описании устройства.[13]

Точность прототипов зависит от массы факторов. Например, принтеры, выполненные в закрытом корпусе, способны выдавать гораздо лучшие показатели точности моделей, чем их собратья в открытом корпусе, что обусловлено равномерным температурным режимом внутри принтера.

Кроме того, требуется правильно устанавливать все настройки 3D-печати, следить за калибровкой стола, условиями эксплуатации устройства, температурным режимом. Некачественный пластик играет не последнюю роль в точности изготавливаемых копий.

### **Гибкость производства**

Внедрение 3D-печати в различные области производства связано с тем, что технология дает возможность создавать геометрические формы практически любых размеров и неограниченной сложности рисунок 1.4.1.

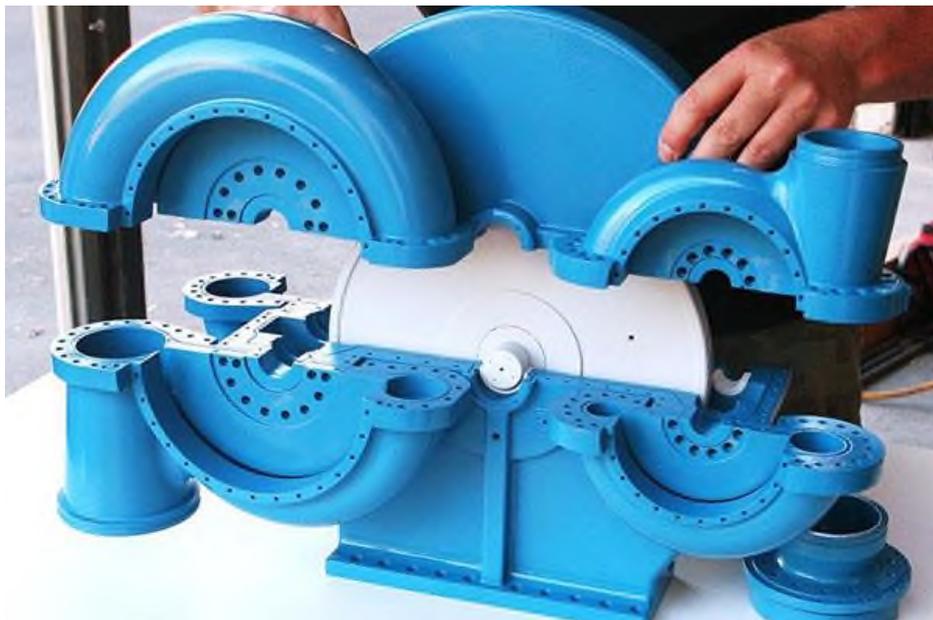


Рисунок 1.4.1 - Объекты, напечатанные на 3D принтере и выглядящие как металлические

## Доступность

Доступность трехмерной печати дает возможность экспериментировать, используя принтеры как в домашних, так и в производственных условиях. Даже самый недорогой 3D-принтер может найти свое применение в архитектуре, строительстве, мелкосерийном производстве, медицине, образовании, ювелирном деле, полиграфии, изготовлении сувениров, рекламы. Стандартной катушки филамента хватит надолго, а купить 3D-принтер может себе позволить практически каждый. Одна из самых бюджетных моделей стоит около \$100.[13]

Сегодня в 3D-печати нет более актуального тренда, чем металл (рис. 1.4.2.) Последние несколько лет 3D-печать металлом активно набирала популярность. И это вполне естественно: каждый материал предлагает уникальное сочетание практических и эстетических качеств, может подходить для широкого круга изделий, прототипов, миниатюр, украшений, функциональных деталей и даже кухонной утвари. Причина, по которой 3D-печать металлом стала столь популярной, заключается в том, что напечатанные объекты можно выпускать серийно.[13]



Рисунок 1.4.2 3D-печать металломх[13]

На самом деле, некоторые из напечатанных деталей так же хороши (если не лучше), как и те, которые изготавливаются традиционными способами. При традиционном производстве работа с пластиком и металлом может оказаться

довольно расточительной — появляется масса отходов, используется немало лишнего материала. Когда авиапроизводитель делает детали из металла, до 90% материала просто обрезается. 3D-напечатанные металлические детали требуют меньше энергии, а количество отходов сокращается до минимума. Немаловажно и то, что конечный напечатанный 3D-продукт оказывается до 60% легче традиционной детали. На одной только авиационной промышленности — главным образом за счет снижения веса и экономии топлива — можно сэкономить миллиарды долларов. Итак, что же нам надо знать про 3D-печать металлами?[13]

Едва ли в это десятилетие появится возможность печатать жидким металлом. Но через несколько лет, по мере развития нанотехнологий, мы можем стать свидетелями существенного развития новых приложений. Это может быть 3D-печать проводящим серебром, которое будет испускаться примерно так же, как это происходит в двумерных домашних принтерах. Станет возможным даже смешивать в одном объекте различные материалы вроде пластика и металла.[13]

### **Материалы для металлической 3D-печати**

Композитные металло-PLA филаменты. Эти филаменты, содержащие значительный процент металлических порошков, остаются достаточно пластичными для того, чтобы ими можно было печатать при низкой температуре (от 200 до 300 по Цельсию) на практически любом 3D-принтере. В то же самое время они содержат достаточно металла, чтобы конечный объект выглядел, создавал тактильное ощущение и даже весил, как металлический (рис.1.4.3.) Филаменты на основе железа в определенных условиях даже ржавеют.

Обычно в филамент для 3D-печати добавляется до 50 процентов металлического порошка. В голландской компании Formfutura добились 85% содержания металлического порошка при 15 процентах PLA. Ими можно печатать даже при «умеренных» температурах от 190 до 200 градусов Цельсия.[13]



Рисунок 1.4.3-Катушки филамента для металлической 3D–печати, (Сталь, бронза и старинная бронза).

Вот ключевые моменты о металлической печати в домашних условиях. Получается уникальная металлическая поверхность и вид. Идеальный вариант для украшений, статуэток, бытовой утвари, реплик. Долговечность. Объекты не гибкие (зависит от структуры). Объекты не растворяются. Не считаются безопасными для продуктов питания. Обычная температура печати: 195 — 220 °С. Крайне малая усадка при охлаждении. Подогрева стола не требуется. Сложность печати высокая, требуется тонкая настройка температуры сопла, скорости подачи, постобработки[13]

### **Прочность**

Существует причина, по которой пластики с металлическим наполнением не используются в производстве. Композитный материал не обладает прочностью, долговечностью и ковкостью чистого металла. Кроме того, добавление металлических порошков в филамент PLA делает его более хрупким, чем чистый PLA.

### **Металлическая 3D–печать в промышленности**

Но что если вам требуется более качественный результат или даже полностью металлическая 3D–печать? Следует ли для бизнес-нужд приобретать реально «металлический» 3D–принтер? Алюминий, сталь, латунь, медь, бронза, стерлинговое серебро, золото, платина, титан (рис. 1.4.4).[13]



Рисунок 1.4.4 Примеры деталей отпечатанных на 3D-принтерах металлом[13]

Причина, по которой крупные компании так полюбили 3D-печать, заключается в том, что на ее основе можно построить полностью автоматизированные линии, выпускающие «топологически оптимизированные» детали. Это означает, что появляется возможность точно выделять исходные материалы и делать компоненты толще лишь в том случае, если они должны выдерживать большие нагрузки. В целом масса деталей существенным образом уменьшается, а их структурная целостность при этом сохраняется. И это не единственное преимущество данной технологии. В некоторых случаях продукт получается существенно дешевле и доступным по цене практически всем.[13]

Но нужно иметь в виду, что 3D-печать металлом требует для моделирования специальных CAD-программ.

Вот несколько примеров цены тестовой модели при металлической 3D-печати:

- **Металлический пластик: \$22,44** (бывший алюмид, PLA с алюминием)
- **Нержавеющая сталь: \$83,75** (плакированная, полированная)
- **Бронза: \$299,91** (сплошная, полированная)
- **Серебро: \$713,47** (сплошная, зеркальной полировки)
- **Золото: \$87,75** (плакированная золотом, полированная)
- **Золото: \$12 540** (сплошная, золото 18 карат)

- **Платина: \$27 314** (сплошная, полированная)

Как и следовало ожидать, что цены на сплошную металлическую 3D–печать довольно высоки.

### Металлическая 3D–печать. Применения

Есть несколько отраслей, в которых уже применяются 3D–принтеры для изготовления объектов повседневного пользования — вы можете даже не знать, что эти объекты напечатаны.[13]

- Кроме того, аэрокосмическая отрасль становится все более и более зависимой от напечатанных металлических 3D–объектов. Итальянская компания [Ge-AvioAero](#) была первой, которая занялась цельнометаллической 3D–печатью. Она производит компоненты для [авиадвигателей LEAP](#) (рис.1.4.5)



Рисунок 1.4.5 Детали авиадвигателя GE LEAP, напечатанные на 3D–принтере на фабрике Avio Aero.[13]

- Наиболее распространенный случай — хирургические и зубные импланты, которые в таком исполнении сегодня считаются лучшим вариантом для пациентов. Причина: они могут быть приспособлены под индивидуальные особенности.[13]

- Другая отрасль — ювелирное дело. Тут большинство производителей отказались от 3D-печати смолой и восковой отливки, переключившись непосредственно на металлическую 3D-печать.
- Еще одна отрасль, нацеливающаяся на металлическую 3D-печать — это автомобилестроение. BMW, Audi, FCA серьезно рассматривают эту технологию, причем не только для прототипирования (для этого 3D-печать применяется уже довольно давно), но и для изготовления реальных деталей.

**3D-печать металлом. Технологии.** Можно много говорить про «металлические» 3D-принтеры, но главными их проблемами остаются те же, что и у любых других 3D-принтеров: программные и аппаратные ограничения, оптимизация материалов и мультиматериальность. Мы не будем особо говорить о программном обеспечении, скажем только, что большинство крупных профильных софтверных компаний, таких как Autodesk, SolidWorks и solidThinking, стараются максимально упираться на то обстоятельство, что в результате процесса 3D-печати металлом можно получить какую угодно форму.

Большинство процессов 3D-печати металлом начинается с «атомизированного» порошка как показано на (рис.1.4.7).[13]



Рисунок 1.4.7 «Атомизированный» порошок для 3D-печати

В целом, металлические напечатанные детали могут быть такими же прочными, как и детали, изготовленные по традиционным процессам. Детали, выполненные по технологии DMLS, имеют механические свойства, эквивалентные литью. Помимо этого, пористость объектов, выполненных на хорошем

«металлическом» 3D–принтере, может достигать 99,5%. Вообще-то, производитель Stratasys утверждает, что 3D–напечатанные металлические детали при проверке на плотность показывают результаты выше промышленных стандартов.[13]

3D–напечатанный металл может иметь разное разрешение. При самом высоком разрешении толщина слоя составляет 0,0009 — 0,0013", а разрешение по X/Y — 0,012 – 0,016". Минимальный диаметр отверстия — 0,036 — 0,046". Рассмотрим, какие бывают технологии металлической 3D–печати.

### **Процесс металлической 3D–печати №1:**

#### **Powder Bed Fusion (расплавление в заранее сформированном слое).**

Процесс металлической 3D–печати, который сегодня применяется большинством соответствующих крупных компаний, называется Powder Bed Fusion. Это название указывает на то, что некий источник энергии (лазер или другой энергетический пучок) расплавляет «атомизированный» порошок (т.е. такой металлический порошок, который тщательно измельчен на сферические частицы), в результате чего получаются слои печатаемого объекта (рис.1.4.8).[13]

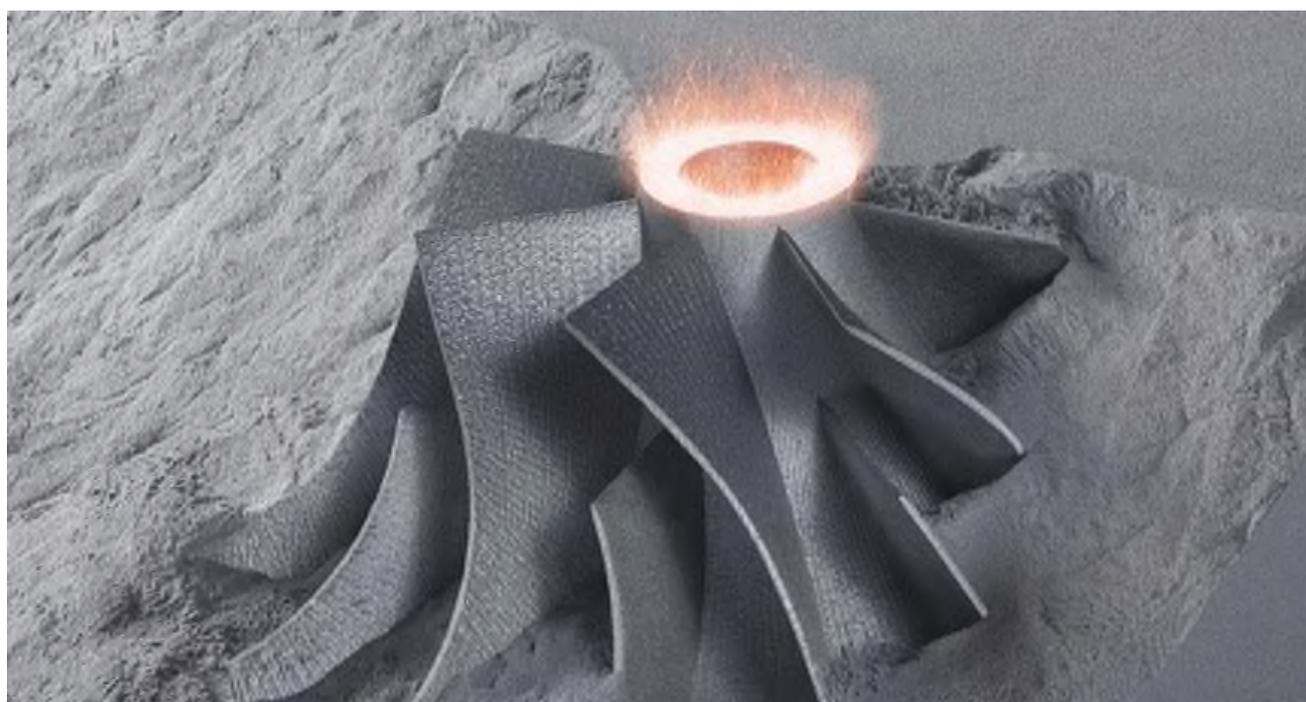


Рисунок 1.4.8 Процесс металлической 3D–печати Powder Bed Fusion.[13]

В мире существует восемь крупных производителей металлических 3D-принтеров, в которых уже применяется данная технология; пока мы тут рассуждаем, таких компаний становится больше и больше. Большинство из них находится в Германии. Их технологии называются SLM (Selective Laser Melting — селективное лазерное сплавление) или DMLS (Direct Metal Laser Sintering — прямое лазерное спекание металлов).[13]

### **Процесс металлической 3D-печати №2:**

#### **Binder Jetting (разбрызгивание связующего вещества).**

При 3DP-технологии ExOne металлические объекты печатаются за счет связывания порошка перед его обжигом в горне.

Другой профессиональный подход, при котором также применяется порошковая основа, называется Binder Jetting. В этом случае слои формируются за счет склеивания металлических частиц и дальнейшего их спекания (или сплавления) в высокотемпературном горне — точно так же, как это делается с керамикой (рис.1.4.9).[13]



Рисунок 1.4.9 Binder Jetting (разбрызгивание связующего вещества)[13]

Еще один вариант, который тоже похож на работу с керамикой, это замешивание металлического порошка в металлическую пасту. 3D-принтер с пневматическим

экструдированием (похожий на шприцевый биопринтер или недорогой пищевой принтер) формирует 3D–объекты. Когда требуемая форма достигнута, объект отправляется в печь, т.е. в горн. Этот подход применяется в [Mini Metal Maker](#), видимо, единственном недорогом «металлическом» 3D–принтере.[13]

### **Процесс металлической 3D–печати №3:**

#### **Metal Deposition (нанесение слоя металла).**

Может показаться, что единственный процесс 3D–печати, который остается в стороне от работы с металлами, это послойное наплавление. Это не совсем так. Разумеется, на каком-то настольном устройстве просто наплавлять металлические нити на основу не получится. Однако очень крупные металлургические компании это могут. И делают. Есть два варианта работы при «наплавлении металла».[13]

Один называется DED (Directed Energy Deposition — осаждение материала при помощи направленного энергетического воздействия) или Laser Cladding (лазерное плакирование, наплавка). Здесь для расплавления металлического порошка, который медленно выпускается и застывает в виде слоя, применяется лазерный луч, а порошок подается при помощи роботизированной руки (рис.1.4.10).[13]

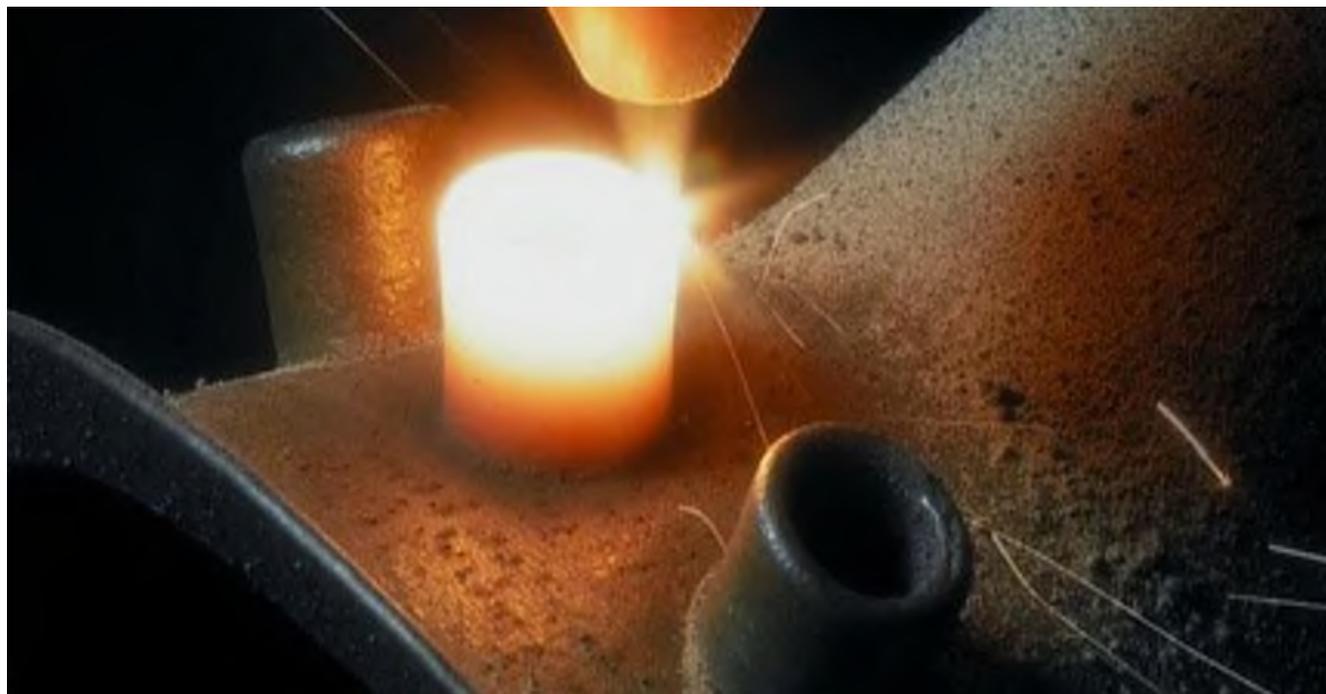


Рисунок 1.4.10 Metal Deposition (нанесение слоя металла)[13]

Обычно весь процесс идет в закрытой камере, но в проекте MX3D при строительстве полноразмерного моста использованы приемы привычной 3D-печати. Другой вариант наплавления металла называется EBAM (Electron Beam Additive Manufacturing — аддитивная технология электронного пучка), который по сути является пайкой, при которой для расплавления 3-миллиметровой титановой проволоки применяется очень мощный электронный пучок, а расплавленный металл образует очень крупные готовые структуры. Что касается этой технологии, то ее подробности известны пока только военным.[13]

Металлический 3D-принтер **Sciaky EBAM 300** — печать металлическим филаментом показан на (рис.1.4.11).

Если вам требуется печатать по-настоящему крупные металлические конструкции, лучше всего остановить свой выбор на [Sciaky's EBAM technology](#).

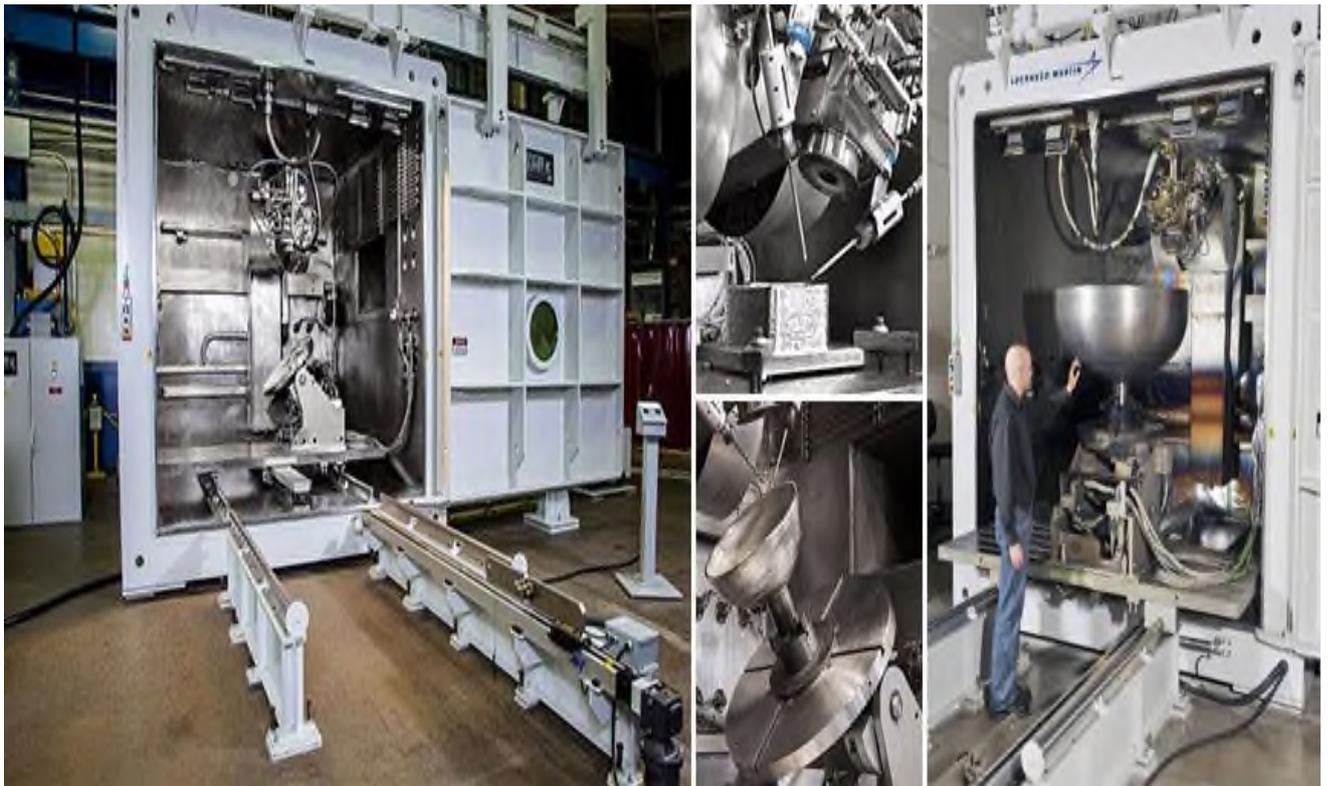


Рисунок 1.4.11 Sciaky EBAM 300.[13]

По заказу может быть выстроен аппарат практически любых размеров. Такая техника используется главным образом в аэрокосмической отрасли и

военными. Самый крупный из серийных принтеров Sciaky — это EВAM 300. Он печатает объекты в объеме  $5791 \times 1219 \times 1219$  мм.[13]

В компании утверждают, что EВAM 300 является также одним из самых быстрых имеющихся в продаже промышленных 3D-принтеров. Трехметрового размера титановая деталь для самолета печатается на нем за 48 часов, при этом расход материала составляет около 7 кг в час. Вообще, кованые детали, на которые обычно уходит 6-12 месяцев, на этом 3D-принтере могут быть сделаны за 2 дня.[13]

Применяемая в Sciaky уникальная технология использует высокоэнергетический электронный пучок, который плавит 3-миллиметровый титановый прут, стандартная скорость наплавления составляет от 3 до 9 кг в час.

Металлический 3D-принтер **Fabrisonic UAM** — ультразвуковая 3D-печать показана на (рис.1.4.12).



Рисунок 1.4.12 Fabrisonic UAM — ультразвуковая 3D-печать.[13]

Другой способ печати крупных металлических деталей — [UAM \(Ultrasound Additive Manufacturing Technology](#) — ультразвуковая аддитивная технология) от

Fabrisonic. Аппараты этой фирмы представляют собой трехосные фрезы с ЧПУ, к которым добавлены сварочные головки для аддитивности процесса. Металлические слои сначала разрезаются, а потом свариваются ультразвуком. Самый большой принтер Fabrisonic 7200 работает в объеме  $2 \times 2 \times 1,5$  м.[13]

Самый крупный на рынке 3D-принтер, работающий с металлическим порошком, — это [Concept Laser XLine 1000](#). Он имеет объем моделирования —  $630 \times 400 \times 500$  мм, а сам размером с дом (рисунок 1.4.13).

Металлический 3D-принтер. **Concept Laser XLine 1000** - 3D-печать металлическим порошком изображен на (рис.1.4.13).



Рисунок 1.4.13 Concept Laser XLine 1000 -3D-печать металлическим порошком[13]

Выпускающая его немецкая компания, один из главных поставщиков 3D-принтеров для аэрокосмических гигантов вроде Airbus, недавно представила новый аппарат — Xline 2000. В этом оборудовании задействовано два лазера, а рабочий объем составляет  $800 \times 400 \times 500$  мм. Используется лазерная технология LaserCUSING (вариант селективного лазерного сплавления) от Concept Laser, которая позволяет печатать сплавами стали, алюминия, никеля, титана. [13]

## Глава 2. РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОЙ ФРЕЗЫ

### 2.1 Требования предъявляемые к разработке корпуса фрезы

К детали корпус фрезы предъявляются следующие требования.

Корпус проектировался под блок резцовый (рисунок 2.1.1) с посадочным диаметром под крепления 16мм. Корпус должен содержать 3-6 резцовых блоков и предусматривает такое же количество механизмов зажима. В конструкции используют разработанные на кафедре резцовые блоки различных типов.

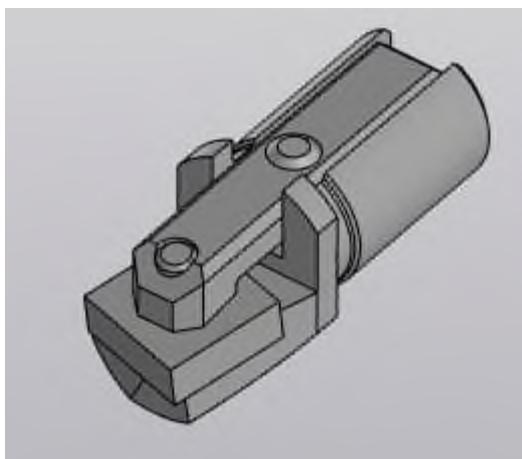


Рисунок 2.1.1 – Блок резцовый

Наличие удобных технологических баз, обеспечивающих требуемую ориентацию и надежное закрепление детали на станке при возможности обработки ее с нескольких сторон и свободного подвода инструмента к обрабатываемым поверхностям.

Простота геометрической формы обрабатываемой детали, позволяющая обрабатывать большинство ее поверхностей с одной установки.

Так же корпус должен подходить под фрезерную оправку для дисковых фрез ВТ 30, для примера была выбрана оправка ВТ30-FMB22-45 (рис. 2.1.2)

**ВТ** - японская разновидность конуса согласно стандарта [JIS](#) B6339 (JMTBA MAS-403«ВТ»). Дюймовая размерность, конструктивно аналог ISO 7388 вариант J.



Рисунок 2.1.2 – Оправка BT30–FMB22-45

Наружные поверхности детали должны иметь открытую форму, обеспечивающую возможность обработки в направлении подачи.

Обрабатываемые поверхности платиков и приливов на соответствующих наружных сторонах детали располагать в одной плоскости. В конструкции детали следует избегать наклонного расположения обрабатываемых поверхностей, наличия фасонных участков, сложных уступов и пазов, прерывающих плоские поверхности и отверстия.

Главные отверстия, требующие точной обработки, следует делать гладкими с минимальным числом ступеней, что позволяет выполнять обработку на проход с меньшим числом инструментов.

Отверстия, расположенные на одной оси в противоположных стенках, желательно проектировать одного диаметра. При наличии на одной оси нескольких отверстий их диаметральные размеры должны уменьшаться от внешней стенки к середине детали. Наиболее точные отверстия желательно располагать на внешних стенках. Отверстия следует располагать перпендикулярно к плоским поверхностям, для обработки при повороте вращающегося стола с закрепленной заготовкой.

В конструкции детали необходимо избегать обрабатываемых внутренних торцовых поверхностей и бобышек, требующих прерывания цикла и установки инструмента изнутри при отсутствии специальных механизмов радиальной подачи.

Обрабатываемые поверхности детали необходимо располагать в доступных для обработки плоскостях, которые могут быть обращены к шпинделю при последовательном повороте стола с заготовкой на определенный угол.

Крепежные отверстия желательно проектировать одинаковых размеров, что позволяет использовать стандартные циклы обработки. Деталь должна иметь достаточную жесткость и прочность, при которых исключается возможность вибрации в процессе обработки.

## 2.2 Конструктивные особенности корпуса фрезы

Главной конструктивной особенностью корпуса являются геометрическая форма наружной поверхности, представляющая собой две сопрягаемые торовые поверхности.

Тор — поверхность вращения, получаемая вращением образующей окружности вокруг оси, лежащей в плоскости этой окружности и не пересекающей её. Обобщенно, тор — топологическое пространство или гладкое многообразие, эквивалентное такой поверхности. Иногда не требуют, чтобы ось вращения не пересекала образующую окружность.

Корпус выполненный в виде тора, обладает хорошей аэродинамикой, что позволяет работать фрезе на высоких скоростях. На рисунке 2.2.1 наглядно видно расположение окружности и ось относительно которой формируется корпус.

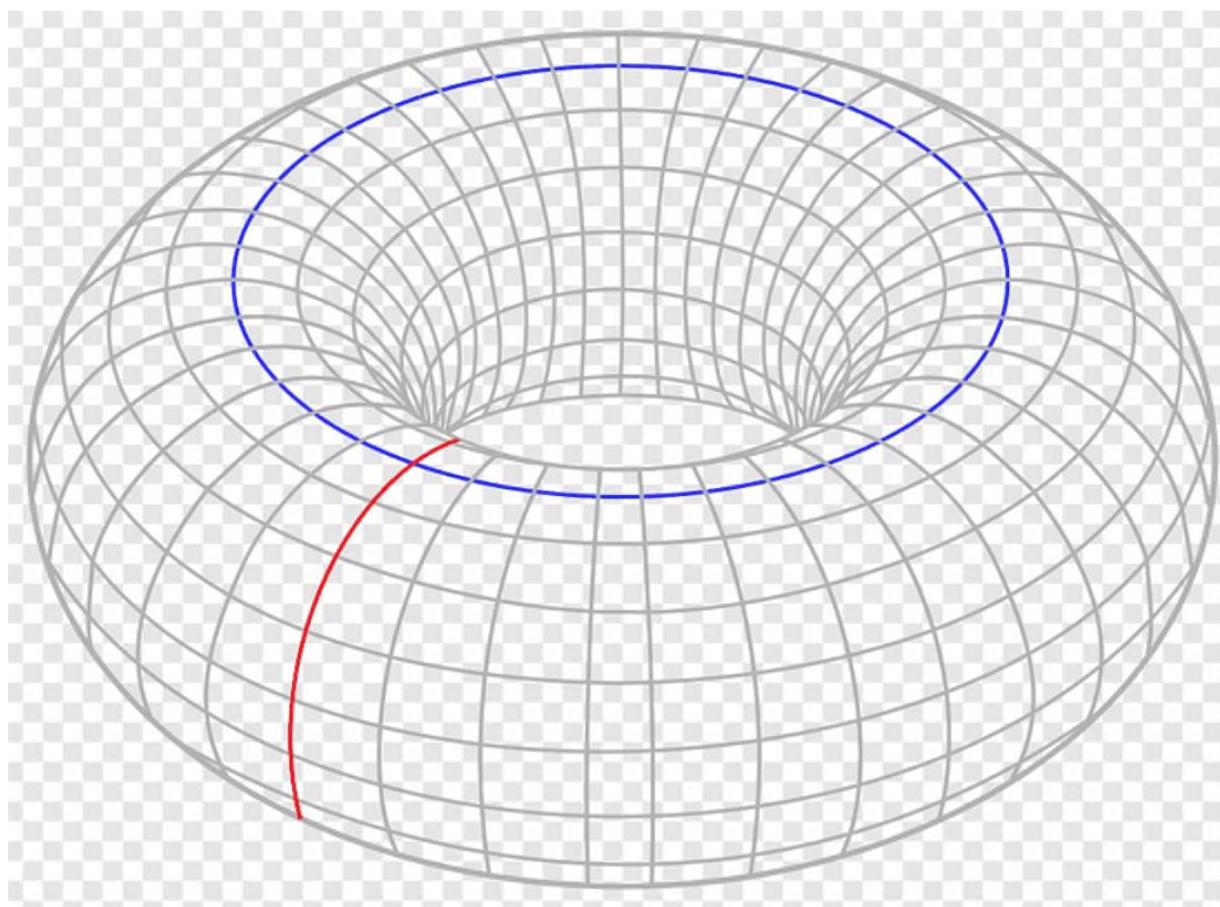


Рисунок 2.2.1 – Тор

Особенностью конструкции универсальной фрезы, схема которой представлена на рисунках 2.2.2 и 2.2.3, является использование корпусного модуля 1 «обтекаемой» формы с улучшенными аэродинамическими свойствами. Возможностью работать как дисковой, так и при переустановке резцовых блоков и включении реверса, торцевой фрезами.

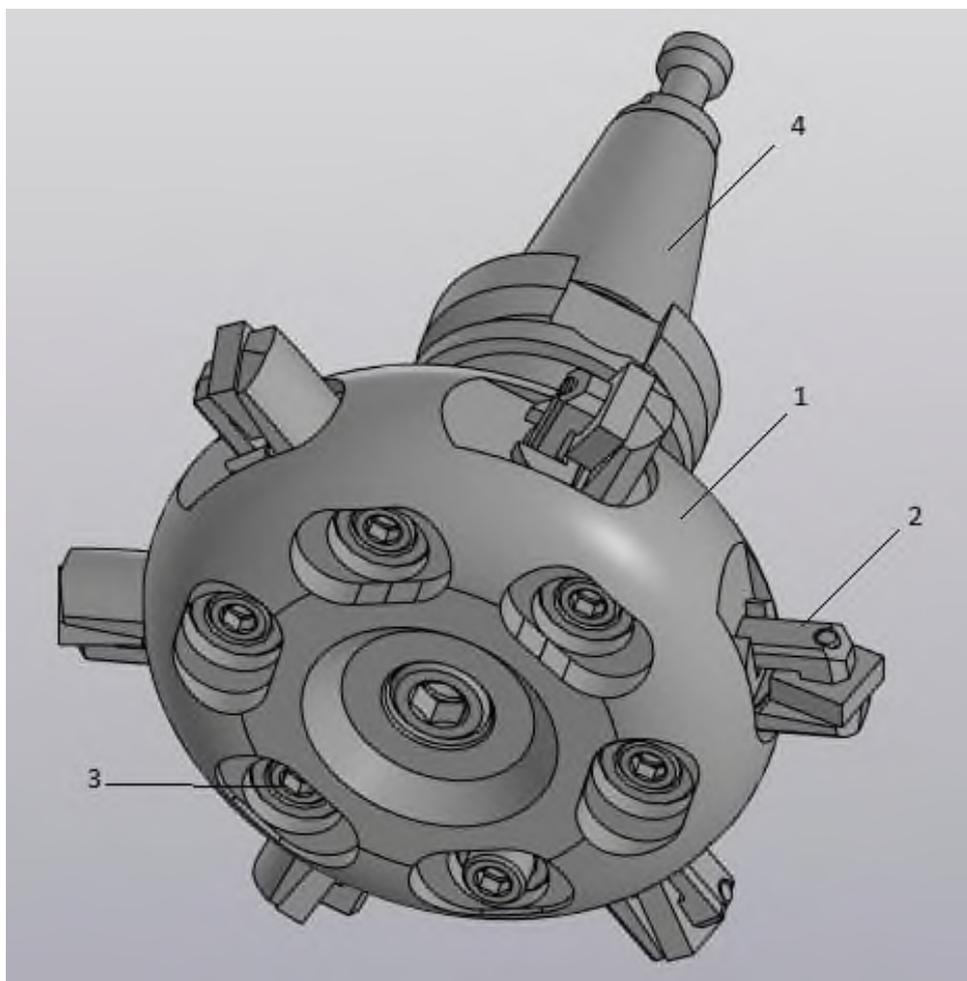


Рисунок 2.2.2 3D–модель фреза универсальная дисковая : 1- корпус, 2 - блок резцовый, 3 - механизм зажима, 4 - оправка ВТ-30.

Конструктивные элементы данной универсальной фрезы: модуль корпусной, блок резцовый, модуль зажимной изготавливаются на станках с ЧПУ, а затем собираются по выше описанной схеме традиционными методами. При этом модуль корпусной может быть синтезирован из высокопрочного пластика, титанового или силуминового сплавов, а блоки резцовые изготовлены из традиционных материалов, т.е. конструкция БМРИ может быть гибридной для уменьшения веса и габаритов.

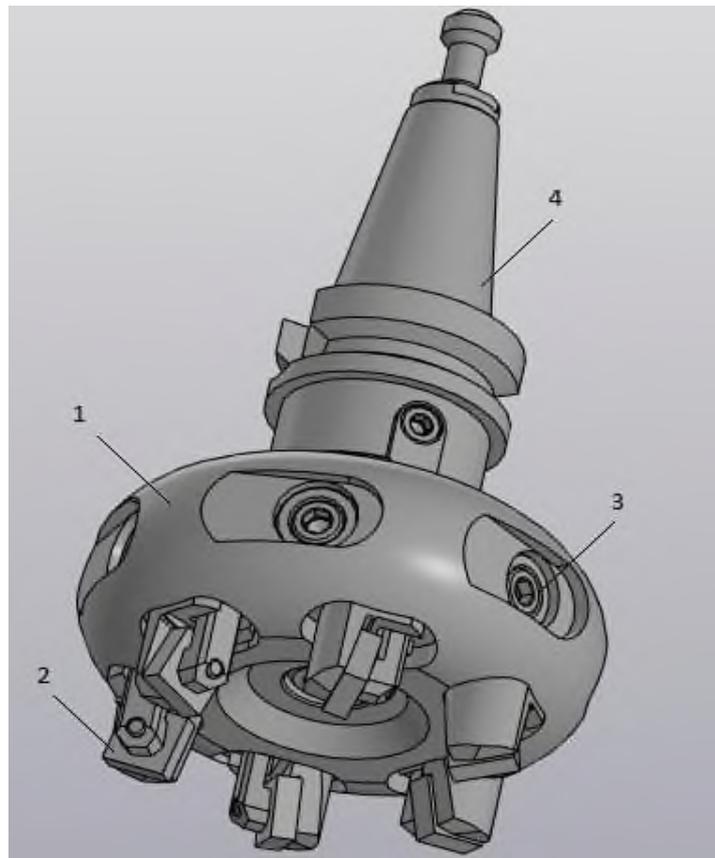


Рисунок 2.2.3. 3D–модель фрезы универсальная торцовая : 1- корпус, 2 - блок резцовый, 3 - механизм зажима, 4 - оправка ВТ-30.

На рисунке 2.2.4 представлена 3D-модель сборки фрезы универсальной дисковой.

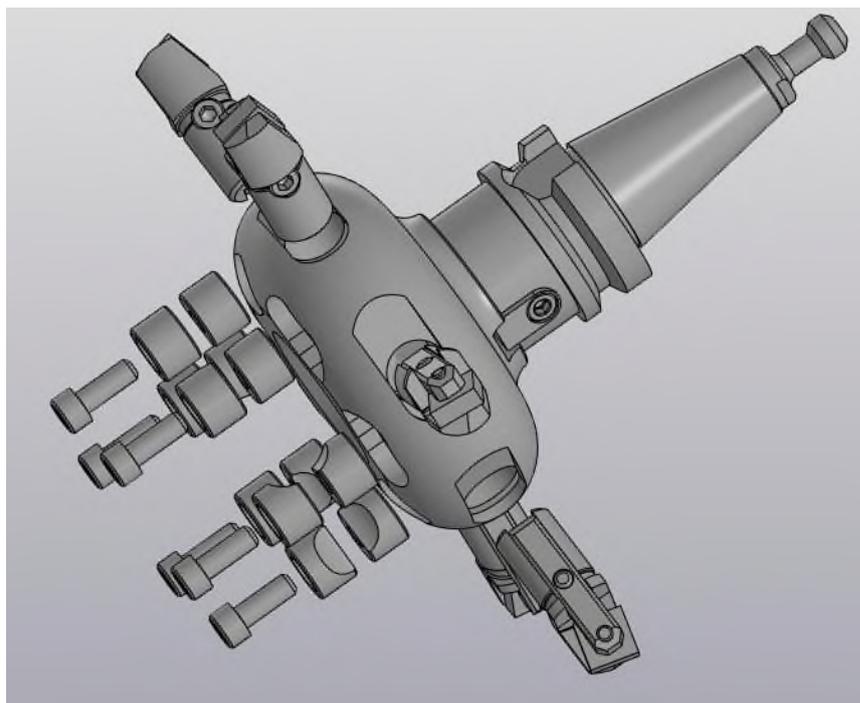


Рисунок 2.2.4 3D-модель сборки фрезы универсальной дисковой

Крепление режущего блока осуществляется сухарями. Это простой и надежный способ крепления, так как не имеет сложных механизмов и состоит всего из двух сухарей и одного зажимного винта.

Принцип работы зажимного механизма. Один сухарь полый, а второй имеет резьбу. При вращении винта, сухарь начинает перемещаться по винтовой поверхности, пока не упирается в резцовый блок. Тогда начинает перемещаться шляпка винта, вместе с полым сухарем, до того момента, пока полый сухарь не упрется в резцовый блок. Сухари зажимают резцовый блок цилиндрической поверхностью, которая имеет такой же диаметр, как и хвостовик резцового блока, что обеспечивает плотное прилегание к блоку и надежное его крепление.

На рисунке 2.2.5 представлена схема 3D-модель сборки фрезы универсальной торцовой. Схема сборки этой фрезы аналогична схеме представленной (рис. 1.3.9).

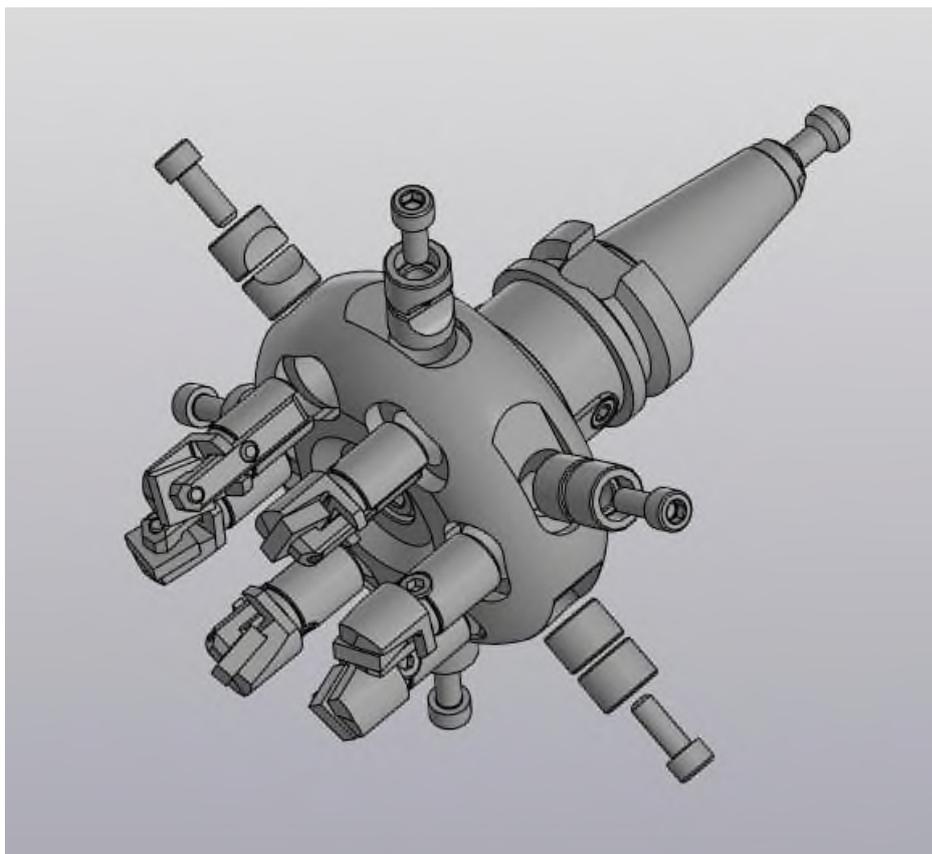
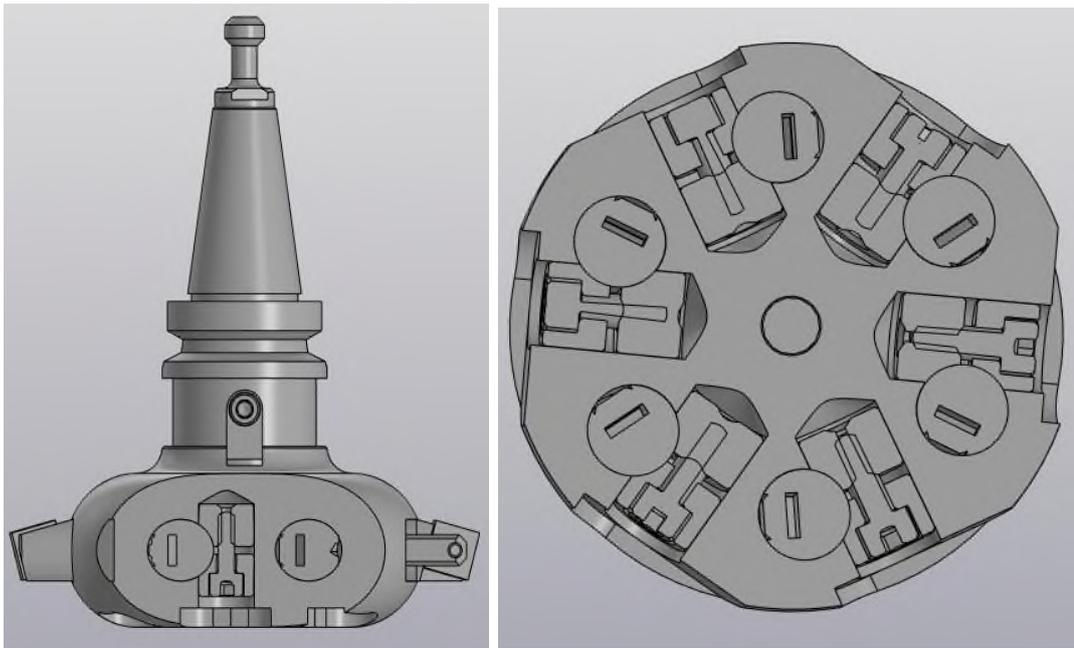


Рисунок 2.2.5 3D-модель сборки фрезы универсальной торцовой

Механизм располагается так, чтобы при переустановке резцовых блоков в эти отверстия вставлялся зажимной механизм.( рис. 2.2.6).



а

б

Рисунок 2.2.6 – Сечение в районе зажимного механизма блока резцового в универсальных фрезах дисковая (а) , торцовая (б).

Конструкторская документация на блок резцовый, механизм зажима, оправку ВТ30, фрезу универсальную торцовую и фрезу универсальную дисковую приведены в ПРИЛОЖЕНИИ А.

### Глава 3. Технологические маршруты изготовления корпуса фрезы

#### 3.1 Технологический маршрут изготовления корпуса фрезы на станках с ЧПУ

##### 005 – Отрезная

Станок: Автоматический консольный ленточнопильный станок - Regas 230x280 A-CNC-R

1. Отрезать заготовку из круга  $\varnothing 110$  Сталь 40Х выдерживая размер 1. По программе.

РИ: Лента с шагом  $\frac{3}{4}$  ТРІ, форма зуба Т/К.

Режимы резания: 50 м/мин.

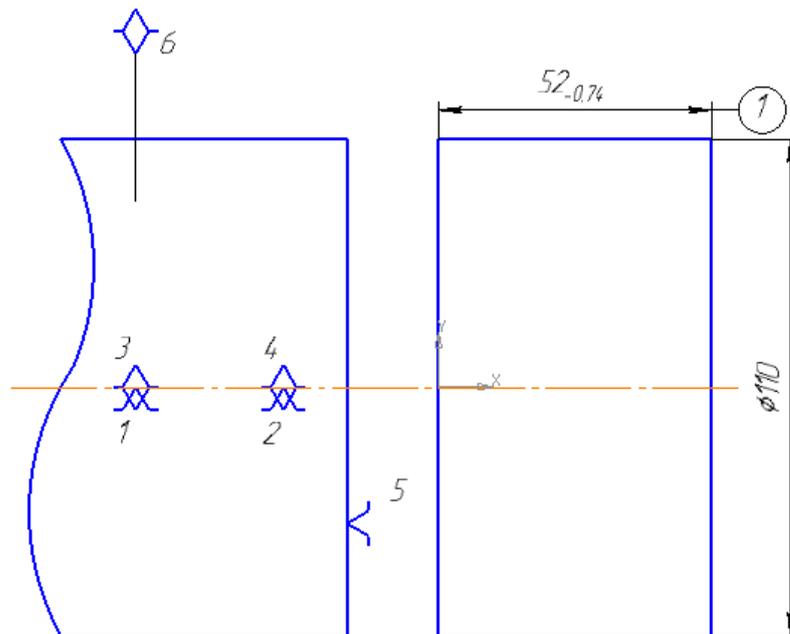


Рисунок 3.1.1- Операционный эскиз 005

##### 010 – Контроль.

Контролировать размер 52Н14.

ИИ. Штангенциркуль ШЦЦ-1-150.

##### 015 – Транспортная.

Транспортировать заготовку на кузнечно-термический участок .

##### 020 – Термическая.

Улучшить заготовку НВ 240-280. Согласно типовых ТП для термической обработки деталей изготовленных из Сталь40Х.

### **025 – Контроль.**

Контролировать твердость.

ИИ. Универсальный твердомер МЕТ-УД.

### **030 – Транспортная.**

Транспортировать заготовку на участок механической обработки.

### **035 – Токарная**

Станок: Токарный станок с ЧПУ - HASS ST-20

#### **Установ А**

1. Установить заготовку в трехкулачковый патрон обеспечив точение на длину 38мм.
2. Подрезать торец как чисто.

РИ: Sandvik Coromant – T-Max P: Инструмент PRGCR 2020R 12, Пластина RCMT 12 04 MP-N7 2220.

Режимы резания:  $V_c = 138$  м/мин,  $F_n = 0.726$ .

3. Центровать.

РИ: Сверло 2317-0129 ГОСТ 14952-75

Режимы резания:  $V_c = 47$  м/мин,  $F_n = 0.13$ ,  $V_f = 325$  мм/мин.

4. Сверлить отверстие,  $\varnothing 10.5$

РИ: Sandvik Coromant – CoroDrill 870: Инструмент 870-1000-6L16-3, Пластина 870-1000-6-ММ 2334

Режимы резания:  $V_c = 55,9$  м/мин,  $F_n = 0.726$ ,  $V_f = 203$  мм/мин.

5. Расточить отверстие, выдерживая размеры:  $\varnothing 17$ . L=16.

РИ: Sandvik Coromant – CoroTurn 107: Инструмент A08H-SCLR 06-R, Пластина CCMT 06 02 08-M 1125.

Режимы резания:  $V_c = 155$  м/мин,  $F_n = 0.15$ .

6. Расточить отверстие, выдерживая размеры:  $\varnothing 30$ . L=5
7. Точить фаску 5x45.

РИ: Sandvik Coromant – CoroTurn 108: Инструмент A08H-SCLR 1.0-R, Пластина

ССМТ 06 02 08-М 1125.

Режимы резания:  $V_c = 155$  м/мин,  $F_n = 0.15$ .

8. Точить радиус R 20 согласно чертежа, предварительно и окончательно по УП выдерживая размеры  $\varnothing 100$   $L=35$

РИ: Sandvik Coromant – Т-Мах Р: Инструмент MTJNR 2525M 22M1, Пластина TNMG 22 04 12-MR 2220.

Режимы резания:  $V_c = 166$  м/мин,  $F_n = 0.35$ .

9. Снять деталь со станка.

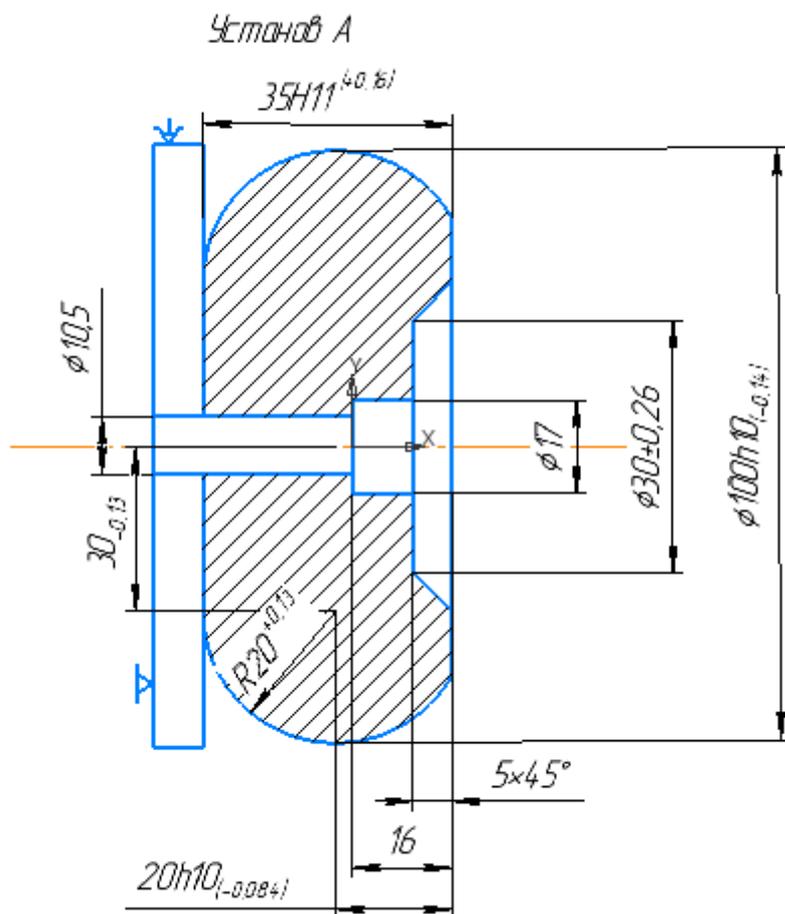


Рисунок 3.1.2 – Операционный эскиз 035 установ А.

### Установ Б

1. Установить заготовку в трехлачковый патрон.
2. Вставить с погрешностью до 0.02 мм.
3. Подрезать торец, выдерживая размер:  $L=47$ .

РИ: Sandvik Coromant – T-Max P: Инструмент PRGCR 2020R 12, Пластина RCMT 12 04 MP-N7 2220.

Режимы резания:  $V_c = 138$  м/мин,  $F_n = 0.726$ .

4. Точить радиус R 7 и фаску 1x45 выдерживая  $\varnothing 46$ . Доточить радиус R 20, предварительно и окончательно по УП

РИ: Sandvik Coromant – T-Max P: Инструмент MTJNR 2525M 22M1, Пластина TNMG 22 04 12-MR 2220.

Режимы резания:  $V_c = 150$  м/мин,  $F_n = 0.35$ .

5. Расточить отверстие, выдерживая размеры:  $\varnothing 22H8$ . L=19.

РИ: Sandvik Coromant – CoroTurn 107: Инструмент A08H-SCLR 06-R, Пластина SSCMT 06 02 08-M 1125.

Режимы резания:  $V_c = 150$  м/мин,  $F_n = 0.15$ .

Операционный эскиз 035 установ Б

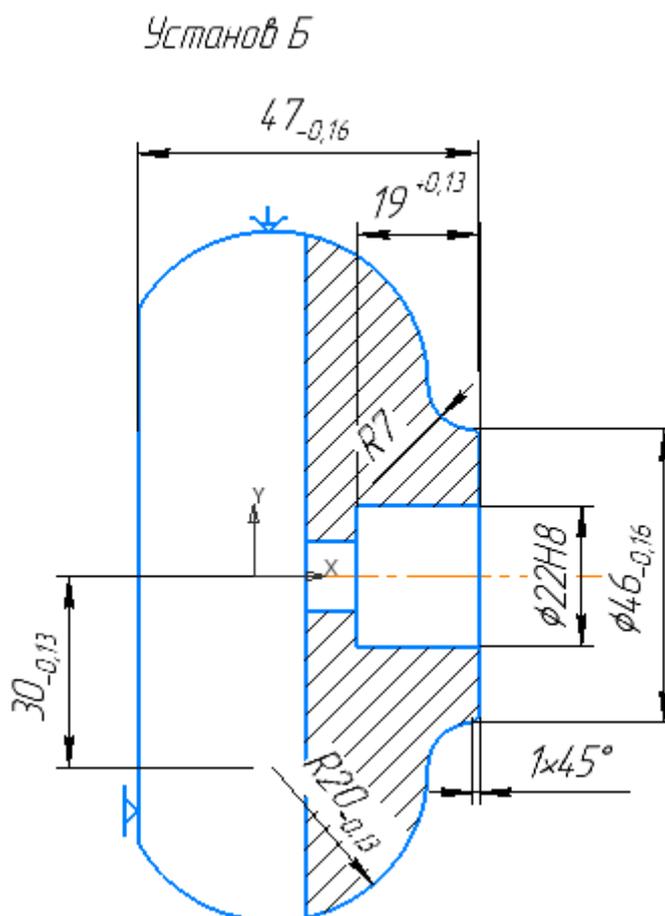


Рисунок 3.1.3 – Операционный эскиз 035 установ Б.

**040 – Контроль.**

Контролировать размеры согласно чертежа.

ИИ: Штангенциркуль ШЦЦ-1-150. Нутромер НИЦ-ПТ18-35. Радиусомер.

**045 – Фрезерная**

Станок: Пятикоординатный вертикально-фрезерный обрабатывающий центр - DMX 320

1. Закрепить деталь в трехкулачковом патроне на столе. С погрешностью не более 0.02мм.
2. Фрезеровать паз, выдерживая размеры: 10, 5.

РИ: Sandvik Coromant – CoroMill 331: Инструмент R331/35C-050A20DM080, Пластина N331.A-05 45 08H-WL1130

Режимы резания:  $V_c = 283$  м/мин,  $F_z = 0.137$ .

Операционный эскиз 045

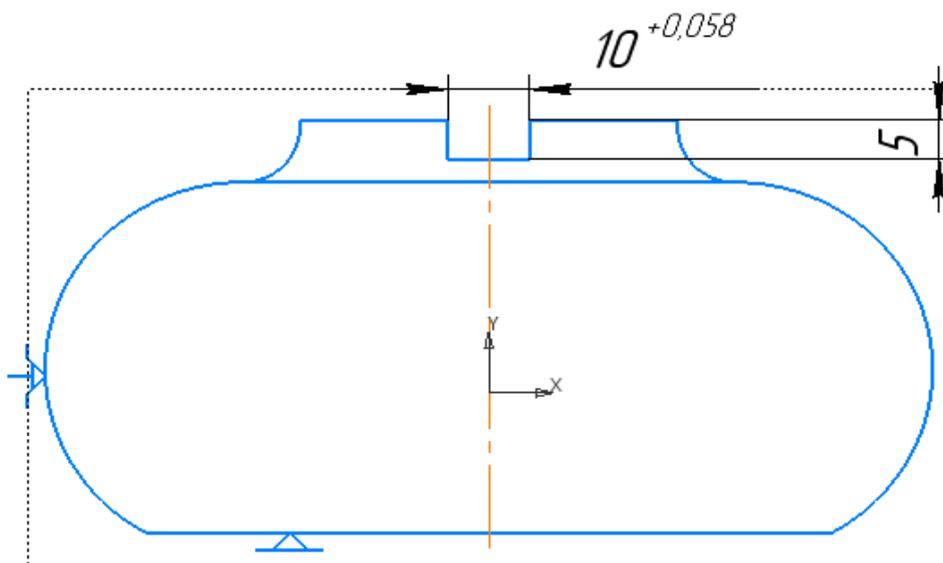


Рисунок 3.1.4 – Операционный эскиз 045.

**050 – Контроль.**

Контролировать размеры согласно чертежа.

ИИ: Калибр предельный 10D10 ГОСТ 24121-80. Штангенглубиномер ШГ-160

**055 – Горизонтально расточная.**

Станок: Горизонтально – расточной станок с ЧПУ WHN-105CNC.

1. Закрепить деталь на столе при помощи специальной оправки базируя при помощи паза, 10D10 и посадки  $\varnothing 22H8$ , зажать при помощи винта и шайбы.
2. Фрезеровать паз, выдерживая размеры: 27H10, 16H11, 7H14, 45h8.

РИ: Sandvik Coromant – CoroDrill 880: Инструмент 880-D1600L20-03, Пластина 880-02 02 W05H-P-MS

Режимы резания:  $V_c = 143$  м/мин,  $F_n = 0.0878$ ,  $V_f = 325$  мм/мин.

3. Центровать отверстие, выдерживая размеры: 26H10, относительно оси детали.

РИ: Сверло 2317-0129 ГОСТ 14952-75.

Режимы резания:  $V_c = 47$  м/мин,  $F_n = 0.13$ ,  $V_f = 325$  мм/мин.

4. Сверлить отверстие, выдерживая размер  $\varnothing 16H11$ , 27h11.

РИ: Сверло 2301-3607-A1 ГОСТ 10903-77.

Режимы резания:  $V_c = 47$  м/мин,  $F_n = 0.13$ ,  $V_f = 325$  мм/мин.

5. Повернуть на 60 градусов и повторить переходы: 2,3,4,5 до получения 6 пазов с отверстиями.

Операционный эскиз 055 .

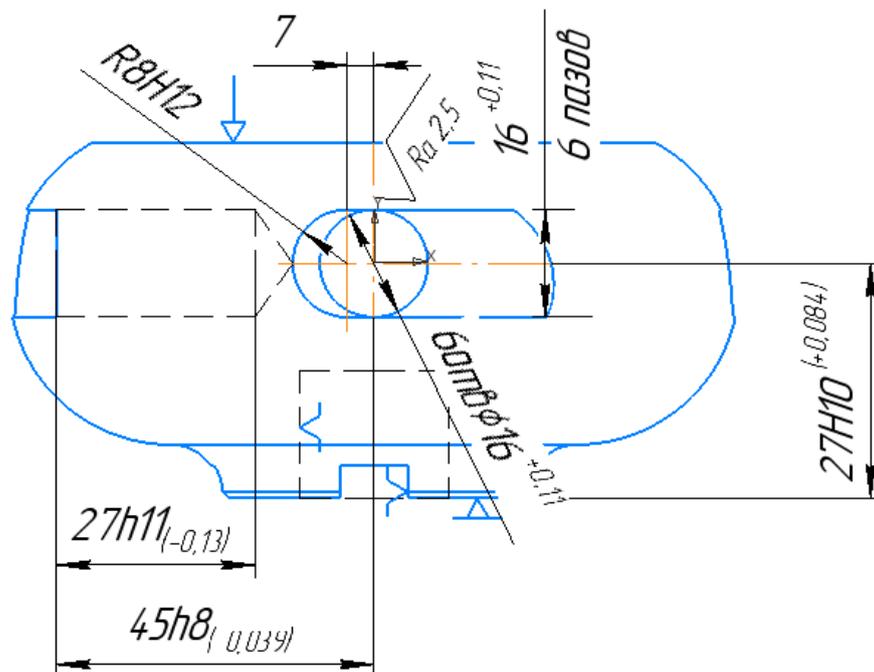


Рисунок 3.1.5 – Операционный эскиз 055 .

**060 – Контроль.**

Контролировать размеры согласно чертежа.

ИИ: Штангенциркуль ШЦЦ-1-150. Нутромер НИЦ-ПТ10-18.

**065 – Фрезерная.**

Станок: Пятикоординатный вертикально-фрезерный обрабатывающий центр - DMX 320

1. Закрепить деталь в трехкулачковом патроне на столе. С погрешностью не более 0.02мм.
2. Фрезеровать паз, глубиной 5мм выдерживая размеры: 16,7,30.

РИ: Sandvik Coromant – CoroDrill 880: Инструмент 880-D1600L20-03, Пластина 880-02 02 W05H-P-MS

Режимы резания:  $V_c = 143$  м/мин,  $F_n = 0.0878$ ,  $V_f = 325$  мм/мин.

3. Центровать отверстие, выдерживая размеры: 12, Ø66.5H9.

РИ: Сверло 2317-0129 ГОСТ 14952-75.

Режимы резания:  $V_c = 47$  м/мин,  $F_n = 0.13$ ,  $V_f = 325$  мм/мин.

4. Сверлить отверстие , выдерживая размер 12, Ø66.5H9, Ø16H11, 32H11.

РИ: Сверло 2301-3607-A1 ГОСТ 10903-77.

Режимы резания:  $V_c = 47$  м/мин,  $F_n = 0.13$ ,  $V_f = 325$  мм/мин.

5. Повернуть на 60 градусов и повторить переходы: 2,3,4,5 до получения 6 пазов с отверстиями. Операционный эскиз 065 .
6. Снять деталь со станка, острые кромки притупить и зачистить заусенцы.

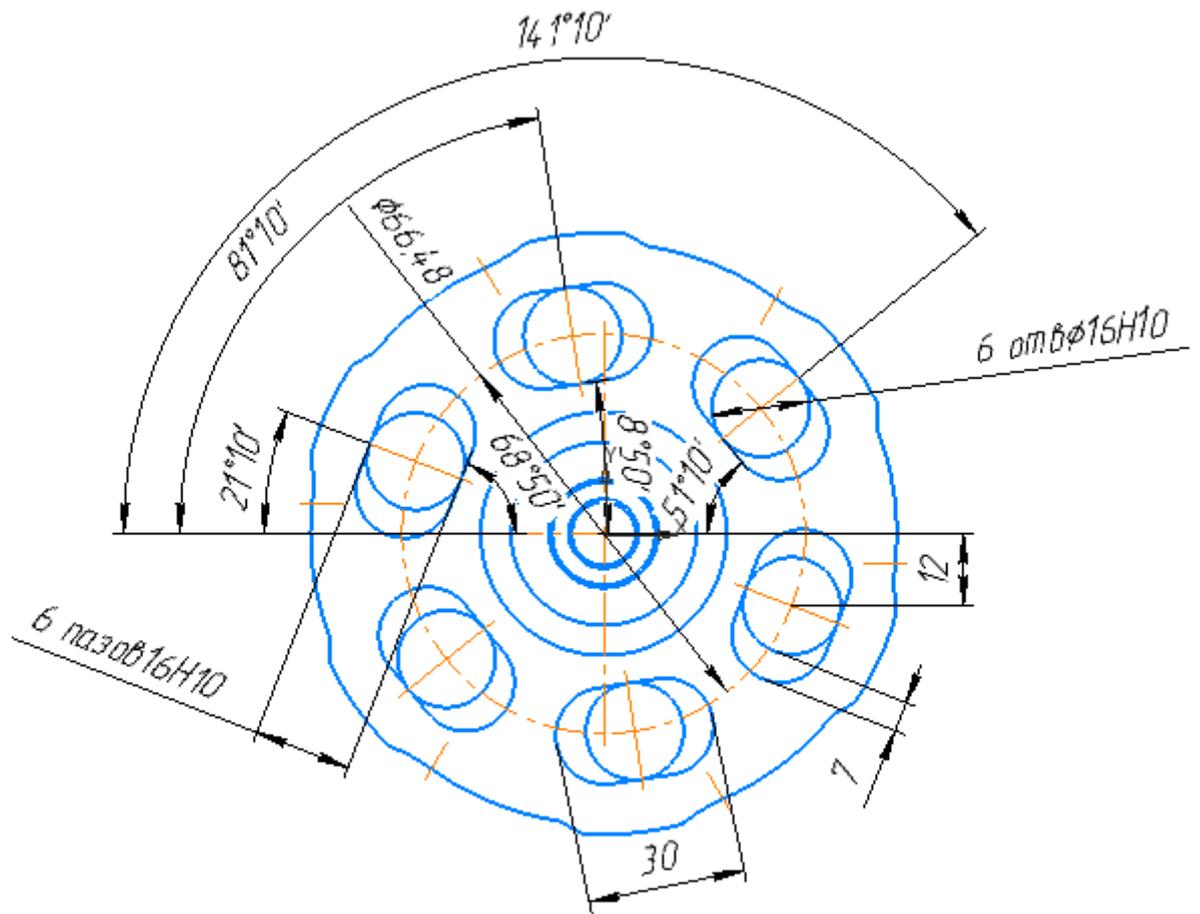


Рисунок 3.1.6 – Операционный эскиз 065.

### 070 – Контроль.

Контролировать размеры согласно чертежа.

ИИ: Штангенциркуль ШЦЦ-1-150. Нутромер НИЦ-ПТ10-18.

### 3.2. Технологический маршрут изготовления корпуса фрезы на 3D-принтере

1. Передать 3D модель "Корпус" в формате STL в программное обеспечение 3D принтера (рис3.2.1).

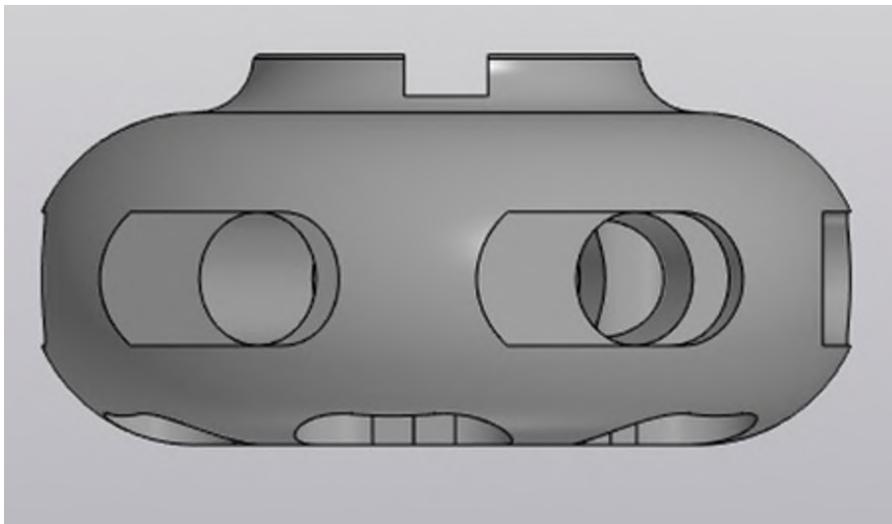


Рисунок 3.2.1 – 3D-модель корпуса

2. Расположить модель в виртуальной рабочей зоне.
3. Сгенерировать элементы вспомогательных конструкций (из специального материала поддержки).
4. Произвести расчёт путей перемещения печатной головки.
5. Произвести расчёт времени выращивания прототипа.
6. Разогреть стол до температуры 60-120 градусов.
7. Печатать изделие "Корпус", выдерживая температуру экструдера 210-285 градусов, при скорости перемещения сопла - 40 мм/с, согласно исходной 3D-модели (рис.3.2.2).

На рисунке 3.2.2 фотография готовой детали после отпечатывания на 3D-FDM-принтере «Ender-3 pro.»

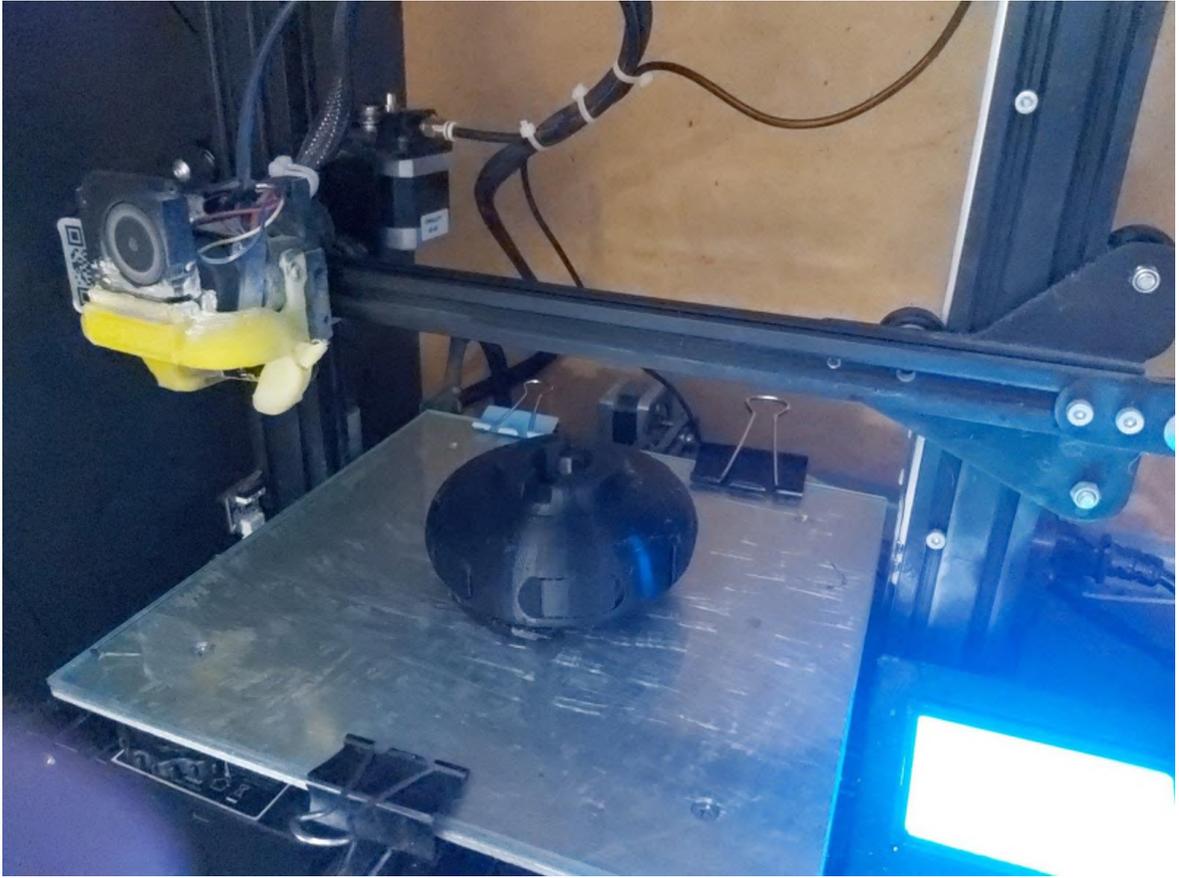


Рисунок 3.2.2 Вид корпуса фрезы, отпечатанного на 3D-FDM принтере Ender-3 pro

## Глава 4. Результаты испытаний фрезы универсальной

Для проверки работоспособности конструкций фрезы был изготовлен экспериментальный образец сначала на 3D-принтере, а затем изготовлен из металла (рис 4.1,а и 4.1,б).



а

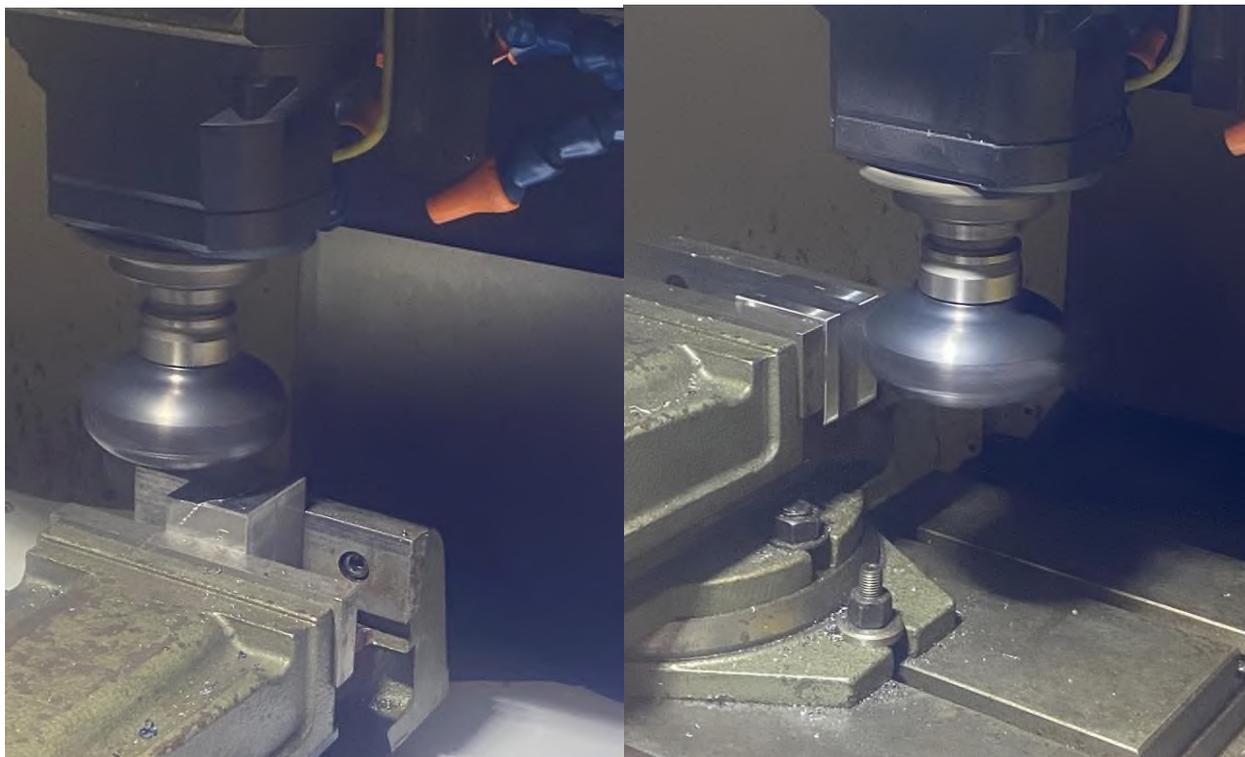
б

Рисунок 4.1. корпус фрезы универсальной отпечатан на 3-D принтере(а), изготовлен из металла(б)

Все детали для сборки были изготовлены механическим способом из металла и собраны, показано на (рис.2.2.2 и 2.2.3) .

Методика испытаний предусматривает обработку заготовок из стали на вертикально-фрезерном станке модели ROBODRILL фирмы FANUK изготовленными фрезами.

Во время проведения испытания были сделаны снимки торцевой фрезой которые представлены в виде рисунков (рис 4.2, а) и дисковой фрезой (рис.4.2, б).

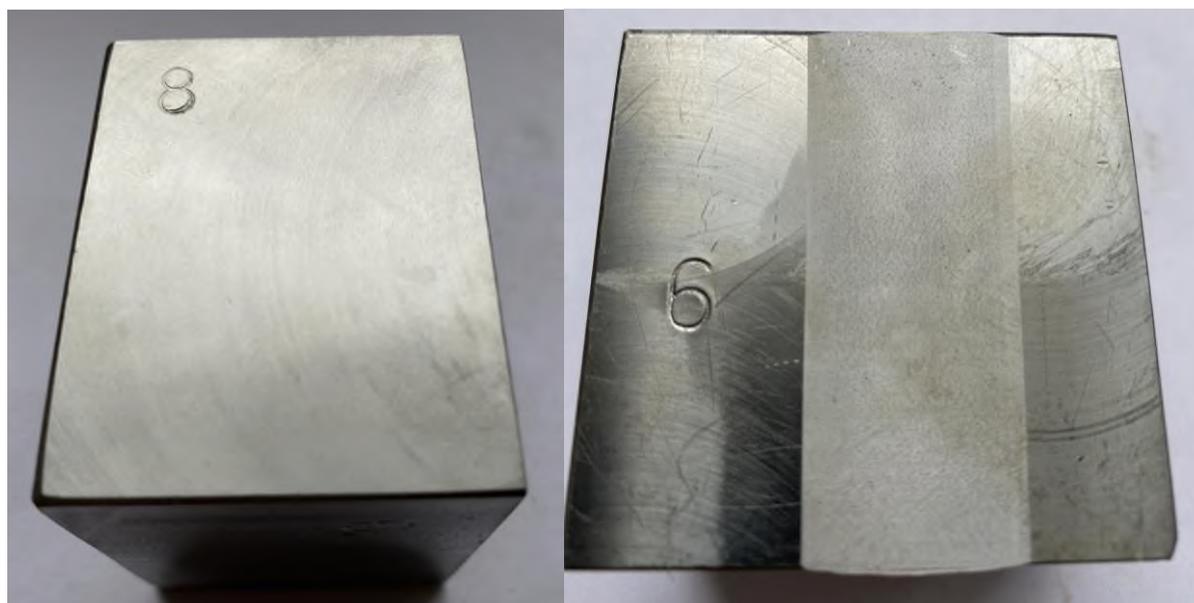


а

б

Рисунок 4.2. Фреза в работе: торцовая (а) и дисконвая (б)

При проведении испытаний фиксируется потребляемая мощность и измеряется шероховатость обработанной поверхности. Отдельные образцы представлены на рис.4.3(а) и рис.4.3(б).



а

б

Рисунок 4.3 Образцы обработанных поверхностей: универсальной торцовой фрезой (а) и универсальной дисконвой фрезой (б)

Испытания проводятся при различных значениях скорости, подачи и глубины резания, универсальной торцовой фрезой (таблица 4.1 ) и универсальной дисковой фрезой (таблица 4.2).

Таблица 4.1 Результаты испытаний торцовой фрезы.

Серия опыта	Параметры	Параметры	Параметры	N кВт	Ra
Серия v	v 1 = 230	Sz = 0.06	t = 1.0	0.98	1.808
	v 2 = 285			0.96	1.605
	v 3 = 305			1.34	1.447
Серия Sz	Sz 1 = 0.06	v = 230	t = 1.0	0.96	1.504
	Sz 2 = 0.08			1.24	4.181
	Sz 3 = 0.1			1.88	4.359
Серия t	t 1 = 0.5	v = 230	Sz = 0.06	0.64	1.729
	t 2 = 1.0			0.78	1.313
	t 3 = 1.5			1.24	1.368

Таблица 4.2 Результаты испытаний дисковой фрезы.

Серия опыта	Параметры	Параметры	Параметры	N%	Ra
Серия v	v 1 = 230	Sz = 0.06	t = 0.5	0.2	2.738
	v 2 = 285			0.18	1.455
	v 3 = 305			0.24	1.527
Серия Sz	Sz 1 = 0.06	v = 230	t = 0.5	0.22	2.551
	Sz 2 = 0.08			0.44	3.969
	Sz 3 = 0.1			0.56	4.84

Дополнительные данные и графики приведены в ПРИЛОЖЕНИИ Б .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведён анализ модульных инструментальных систем, включающий: виды инструментальных модулей, механизмы крепления модулей, инструментальные системы для многоцелевой обработки, который позволил определить текущие тенденции в области конструирования современных инструментальных систем.

Рассмотрены конструктивные схемы различных типов блочно-модульных режущих инструментов и предложены конструкция универсальной фрезы для применения на станках с ЧПУ «Robodrill».

При проектировании использовался модульный принцип, позволяющий унифицировать конструктивные элементы в различных типах режущих инструментов и тем самым снизить себестоимость их изготовления и применения. В основу всех конструкций модульных инструментов положен унифицированный блок резцовый, имеющий оригинальный механизм закрепления режущей пластины и простые поверхности (цилиндрические) для установки блока резцового в корпусном модуле.

Разработан технологический маршрут изготовления основной детали блочно-модульных инструментов на станках с ЧПУ, маршрут изготовления режущих инструментов для субтрактивного и аддитивного производств.

Отличительными особенностями разработанной конструкции являются: хвостовик В30, универсальное использование, взаимозаменяемость блоков резцовых и механизма зажима, что позволило изготовить универсальную фрезу, Ø100мм с количеством блоков резцовых 3-6 шт.

В результате исследований и испытаний установлено, что зависимости мощности, деформации и шероховатости обработанных поверхностей от элементов режима резания торцевыми и дисковыми фрезами соответствуют классическим шероховатостям теории резания. По параметру Ra шероховатости полученной поверхности фрезерование торцевыми и дисковыми фрезами соответствует чистовой обработке. В установленном диапазоне режима резания и времени испытаний фрезы работоспособны, рекомендуют для дальнейших использований на станке с ЧПУ «Robodrill».

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Н.Н. Попок. Блочно-модульные режущие инструменты. Альбом: учеб. пособие / П58 Н.Н.Попок [и др]. – Новополоцк : Полоц.гос.ун-т,2022.-176с.
2. Н.Н. Попок. Анализ тенденций проектирования инструментальных систем. Часть 1. Термины и системы обозначения режущих пластин, державок и модулей. // Вестник ПГУ. Серия В., №3, 2012.– С.71-81.
3. Н.Н. Попок. Анализ тенденций проектирования инструментальных систем. Часть 2. Механизмы крепления модулей. // Вестник ПГУ. Серия В., № 11, 2012.– С. 11-19.
4. Н.Н. Попок. Анализ тенденций проектирования инструментальных систем. Часть 3. Инструментальные системы для многоцелевой обработки. // Вестник ПГУ. № 3, 2012.– С. 19-37.
5. Н.Н. Попок Мобильная реорганизация машиностроительного производства. // Минск: Технопринт, 2001. – 396 с.
6. Конструирование и оснащение технологических комплексов. Русецкий А.М., Витязь П.А., Хейфец М.Л., Данилов В.А., Киселев Р.А., Крутько В.С., Попок Н.Н., Клименко С.А. // Мн.: Беларуская навука,2014. – 316с.
7. Патент ВУ19260. Способ установки сменной режущей пластины в режущем инструменте, Попок Н.Н., Терентьев В.А., Хмельницкий Р.С., Сидикевич А.В., Сопиков И.Я. // Заявка на изобретение № а 20110025 от 06.01.2011. С1МПКВ23В27/16.
8. Патент ВУ19226. Режущий инструмент / Попок Н.Н., Терентьев В.А., Хмельницкий Р.С., Сидикевич А.В., Сопиков И.Я. // Заявка на изобретение № а 20110026 от 06.01.2011. С1МПКВ23В27/16.
9. Патент на полезную модель ВУ563. Многолезвийный блочно-модульный режущий инструмент / Попок Н.Н., Терентьев В.А. // заявка № а 20010235 от 05.10.2001.
10. Патент на полезную модель ВУ3127V. Многолезвийный блочно-модульный режущий инструмент / Попок Н.Н., Терентьев В.А.,

Сидикевич А.В., Сопиков И.Я. // Заявка на изобретение № 420060015 от 11.04.2006. В2331/00, 27/00.

11. Патент на полезную модель ВУ5407. Инструмент для обработки растачиванием / Попок Н.Н., Киселев Р.А., Черневич М.В. // Заявка № а 20080966 от 12.03.2009г. МПК В23с3/00.

12. Патент на полезную модель ВУ9108. Расточной инструмент / Попок Н.Н., Терентьев В.А., Герасимов А.А. // Заявка № а 20120817 от 2012.09.17.

13. основополагающее руководство по 3D-печати металлом[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3dpt.ru/page/metall-3d-printing>. - Дата доступа: 07.06.2022.

# **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

## **Техническая документация**

# Виды инструментальных модулей зарубежных фирм



Резцы вставки T-MAX фирмы "Sandvik Coromant":  
 а - исполнение T-MAX P; б - исполнение T-MAX U;  
 в - исполнение T-MAX S; г - исполнение T-MAX AL



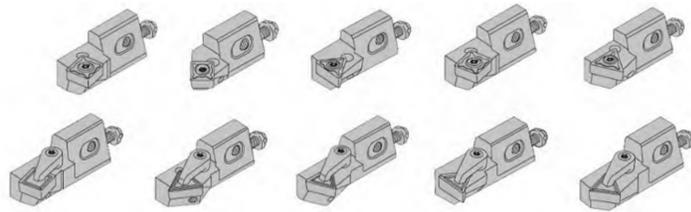
Резцовые насадки T-MAX: а - для треугольных пластин,  
 б - для трапециевидных пластин фирмы "Sandvik Coromant"



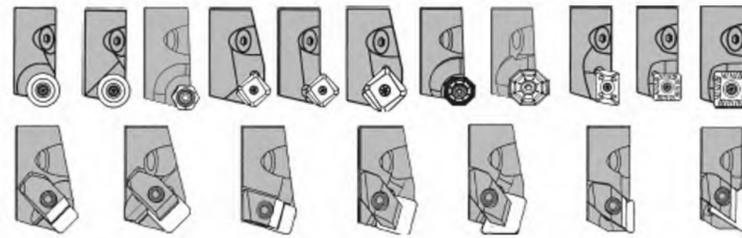
Зачистной блок для фрез  
 фирмы "Sandvik Coromant"



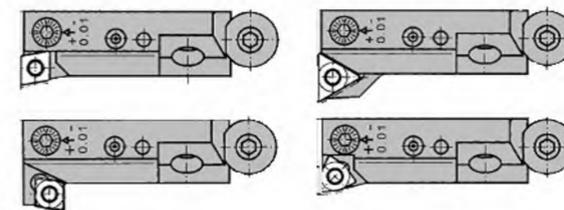
Резцы-вставки фирмы Ingersoll



Картриджи фирмы Kohloy



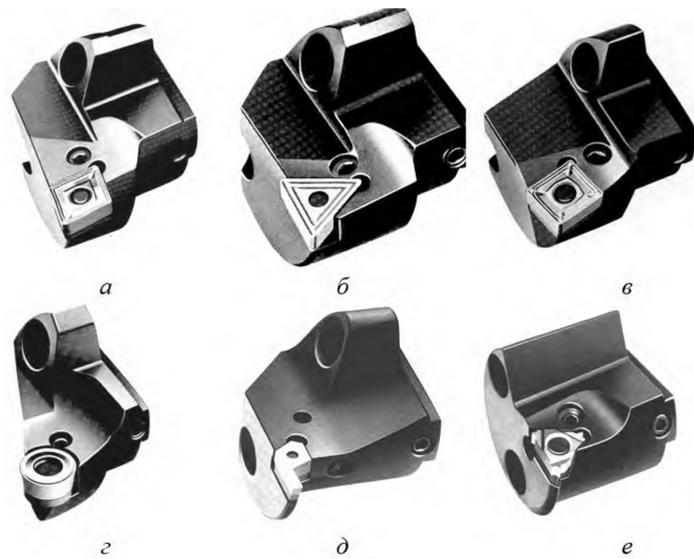
Картриджи, используемые фирмой Widia



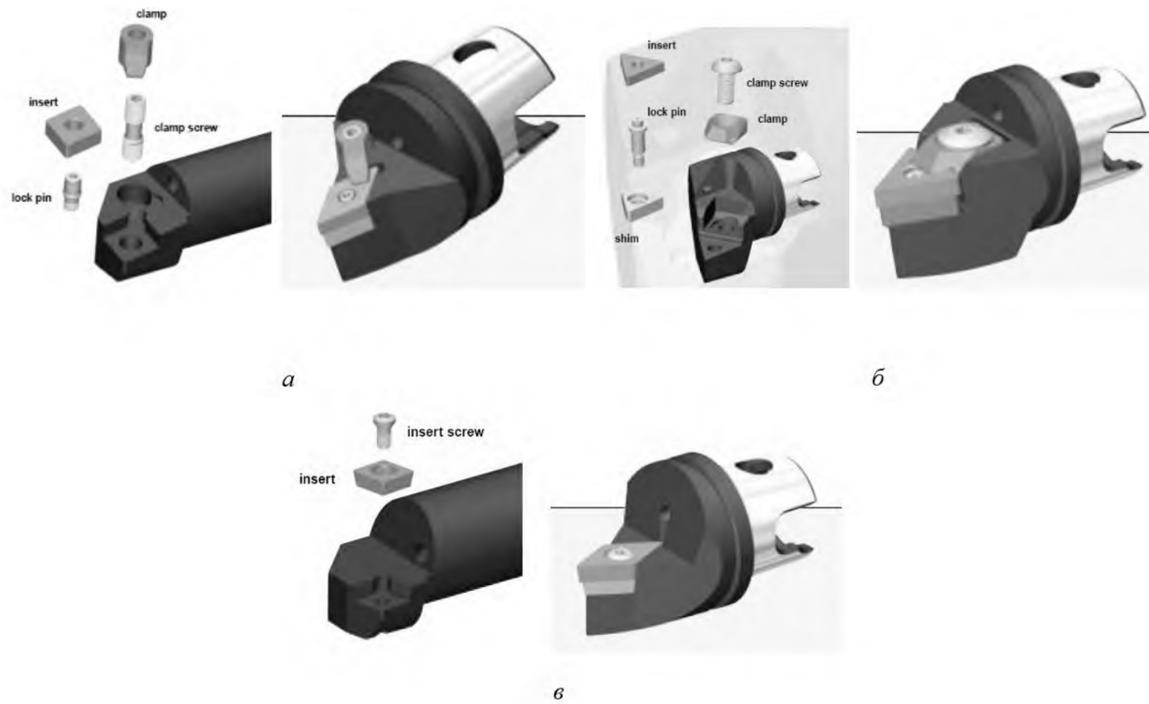
Пример использования картриджей одного типоразмера  
 для закрепления пластин разной формы фирмы John & Co.



Резцы-вставки фирмы Rigibore



Расточные блоки для крепления пластин  
 различных формфирмы «Hertell»:  
 а - ромбической,  
 б - треугольной,  
 в - квадратной,  
 г - круглой,  
 д - для точения внутренних канавок,  
 е - для нарезания резьбы



Блоки с различными типами крепления фирмы "Kennametal":  
 а - тип крепления С;  
 б - тип крепления М;  
 в - тип крепления S

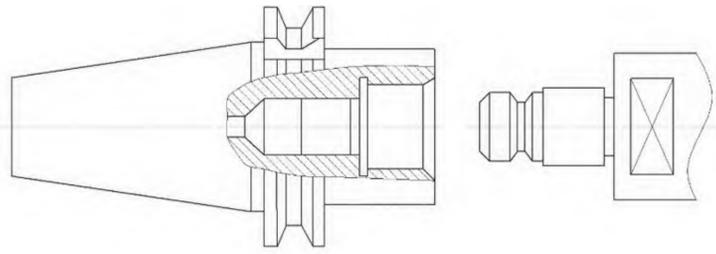


Резцы-вставки фирмы Hallfelder

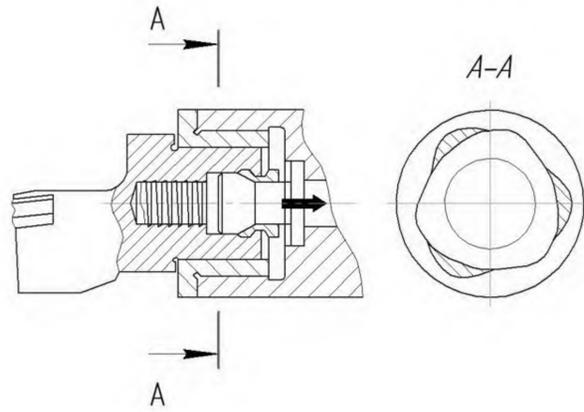
				МД-М211368002010.01.00.00-30-2023		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Лист	Масса
Разраб.	Голоцкий МА			15.02.2023	1	
Проб.	Попов НН				Листов	1
Т.контр.					1-368002	
Исполн.					УО "ПГУ", г.Новополюцк	
Утв.	Попов НН				Формат	A1

КОМПАС-3D 12 © 2021 ООО КОМПАС-Солтсбрик. Все права защищены. Разрешено использование в личных целях. Не для коммерческого использования.

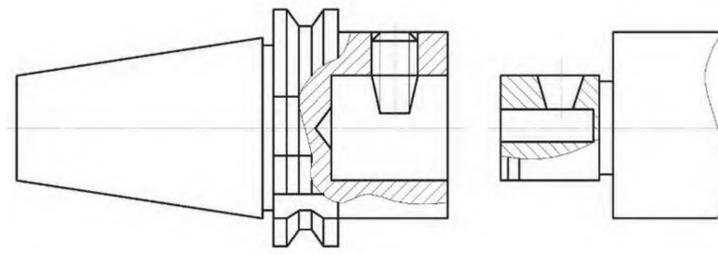
# Анализ модульных инструментальных систем зарубежных фирм



Инструментальная система фирм CO (Швейцария) и Vacker (Италия)



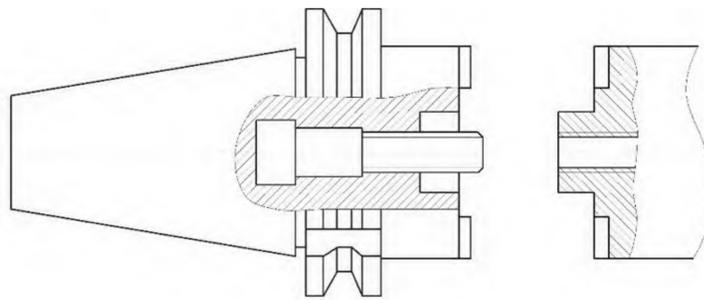
Инструментальная система «Coromant-Capto» фирмы «Sandvik Coromant» (Швеция)



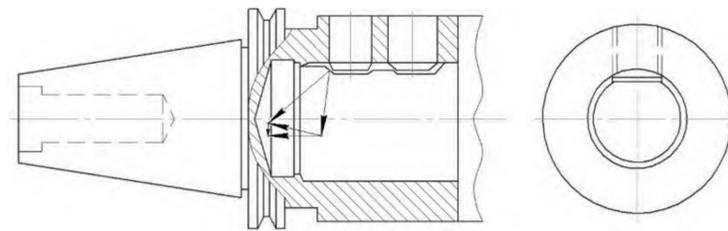
Модульные расточные инструменты фирм Wahlhafter и Kaiser (Германия)



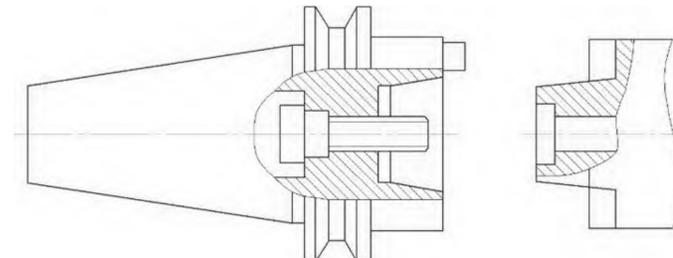
Система модульного инструмента «Varilock» фирмы «Sandvik Coromant» (Швеция)



Модульная система расточного инструмента фирмы Kelch (Германия)



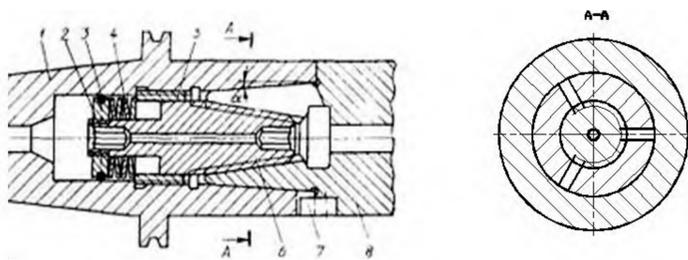
Инструментальная модульная система «Unidorn Spannsystem» фирмы «Doagad» (Швейцария)



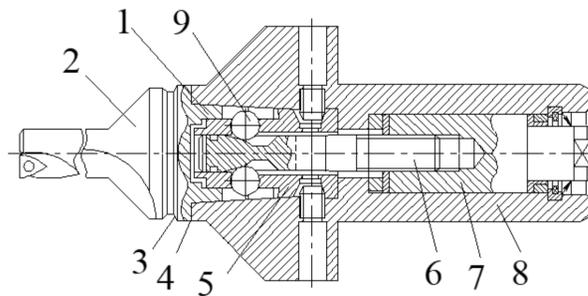
Система инструмента для станков с ЧПУ «Novex NC» фирмы Walter (Германия)



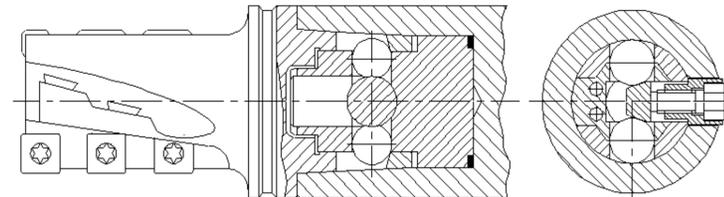
Инструментальная система ABC фирмы «Komet» (США)



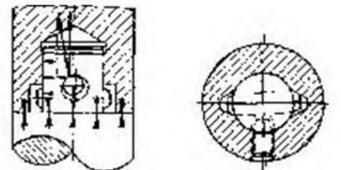
Инструментальная система «Jarhim-Flex» («ВИНТ-ТИС») внедренческого научно-производственного предприятия «Винт» (Россия)



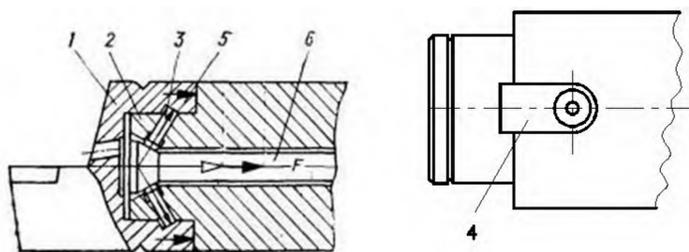
Блочная система «Widaflex» фирмы Krupp Widia (Германия)



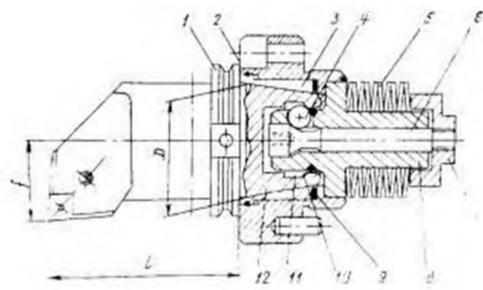
Инструментальные системы осевого инструмента фирмы Krupp Widia (Германия)



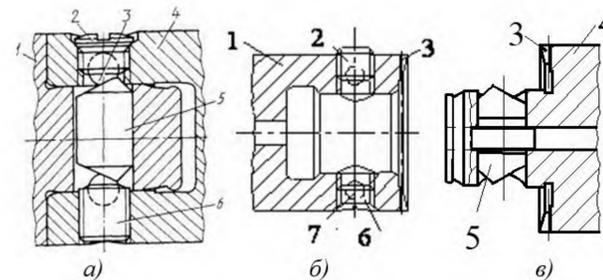
Система модульного инструмента «СКВ» фирмы Heinz Kaiser (Германия)



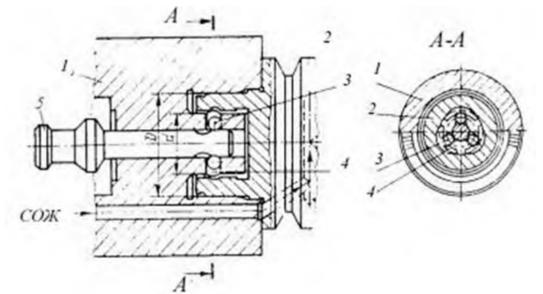
Инструментальная система «Multiflex (MTX)» фирмы Widia Krupp (Германия)



Инструментальная система «KV» фирмы Kennametal (США)



Инструментальная модульная система «MC» фирмы Hertel (Германия)

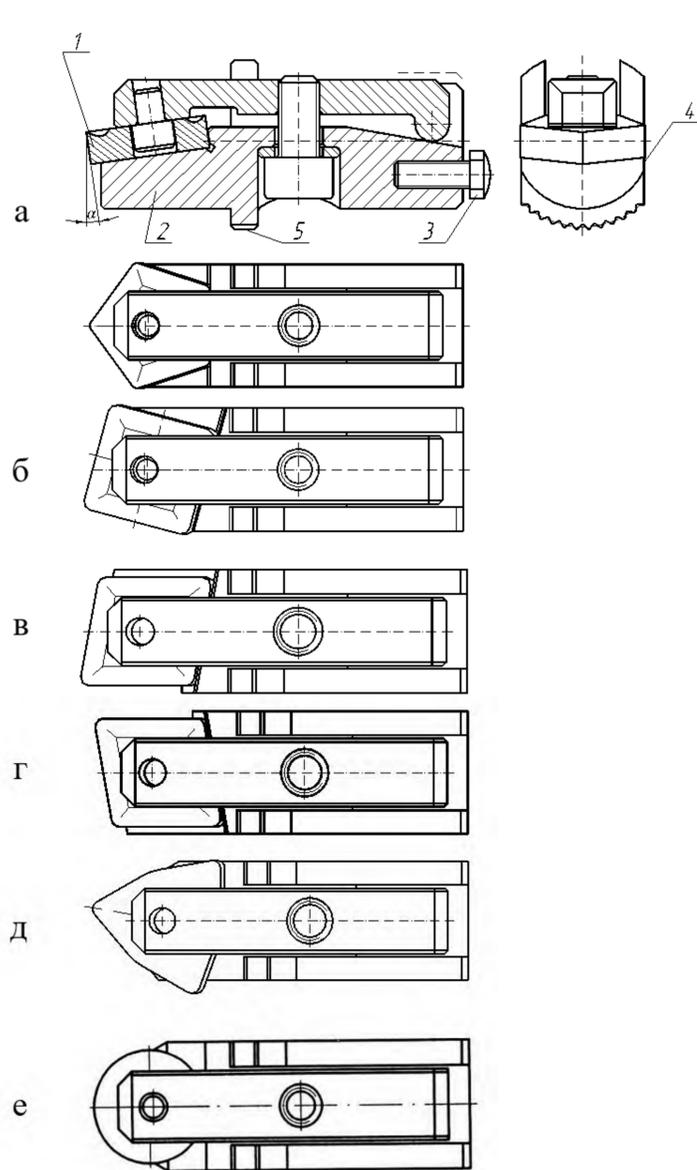


Инструментальная модульная система «RC» фирмы Hertel (Германия)

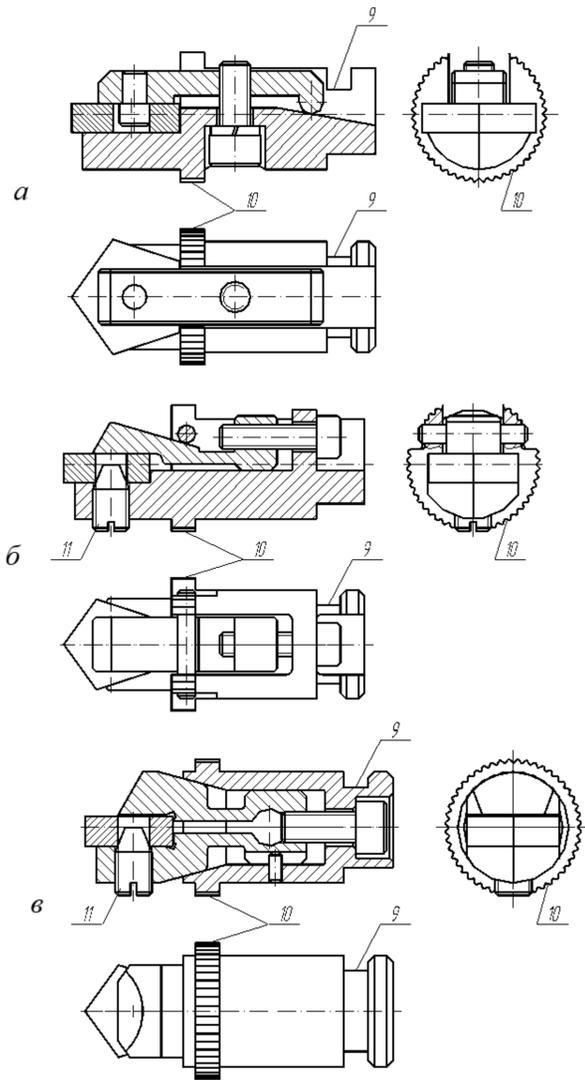
				МД-М211368002010.01.01.00-30-2023		
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Анализ модульных инструментальных систем зарубежных фирм	
		Забайкинский МА		15.01.2023	Лит	Масса
Проб.		Попов НН			Лист	Листов 1
Т.контр.					1-368002	
Исполн.					УО ТГУ, г.Новополюк	
Утв.		Попов НН			Формат	A1

Копировано из файла: МД-М211368002010.01.01.00-30-2023.dwg  
 Дата: 15.01.2023 10:00:00  
 Автор: Попов НН  
 Исполнитель: Попов НН  
 Проверено: Попов НН  
 Утверждено: Попов НН  
 Не для коммерческого использования

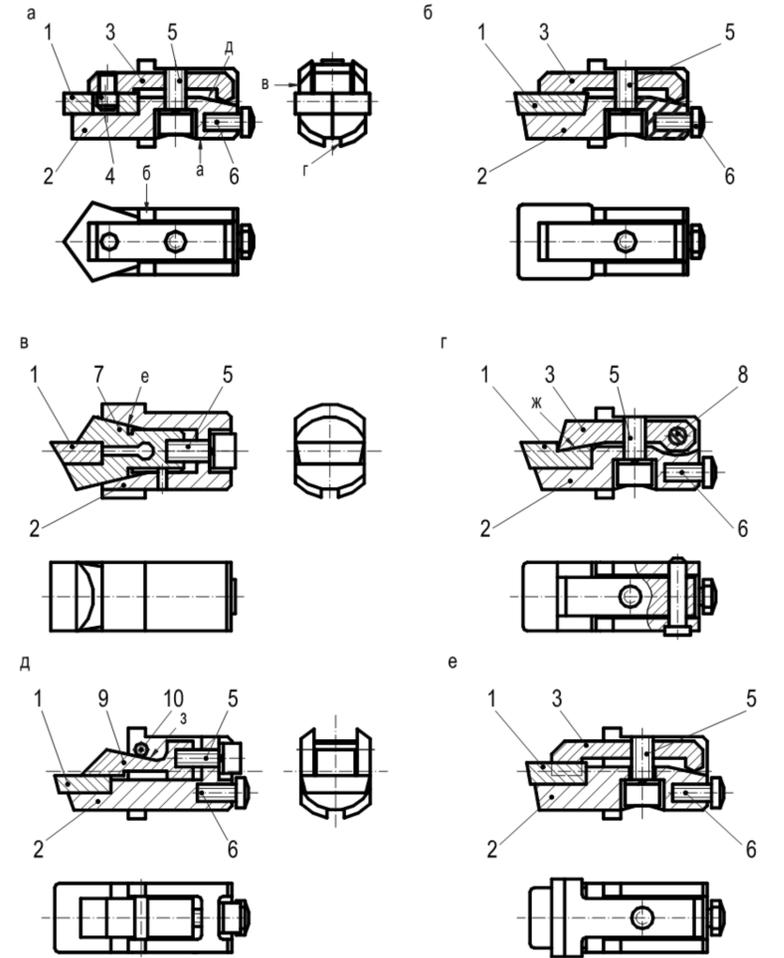
# Блоки резцовые



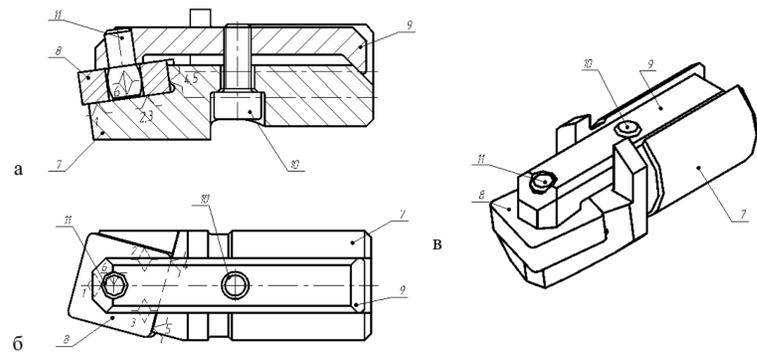
Конструктивные схемы резцовых блоков с пятигранной (а), четырехгранной (б), ромбической (в), трехгранной (г) и круглой (д) режущими пластинами



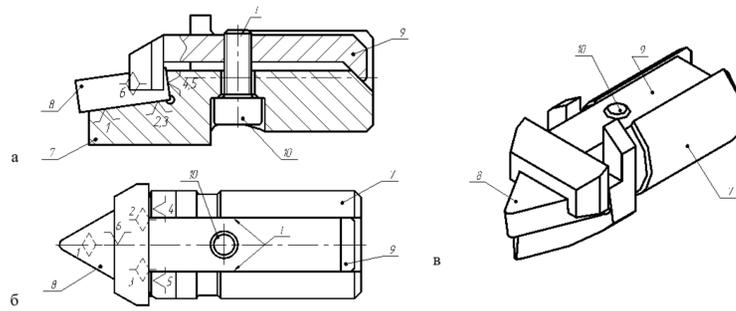
Конструктивные схемы резцовых блоков с креплением режущей пластины: прихватом (а), полуцангой (б) и цангой (в)



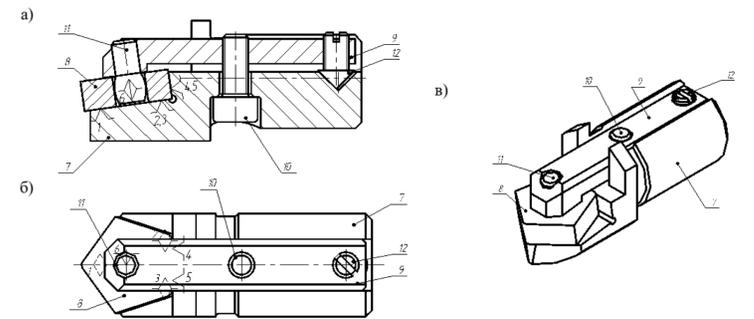
Конструктивные схемы резцовых блоков: а, б, в - с «тянущим» прихватом; в и д - с цанговым и полуцанговым зажимом пластины; г - с прихватом



Резцовый блок: а - главный вид; б - вид сверху; в - 3D модель; 1, 2, 3 - установочная база, 4 и 5 - направляющая база, 6 - опорная база, 7 - корпус режущего инструмента, 8 - сменная режущая пластина, 9 - прихват, 10 - винт, 11 - штифт

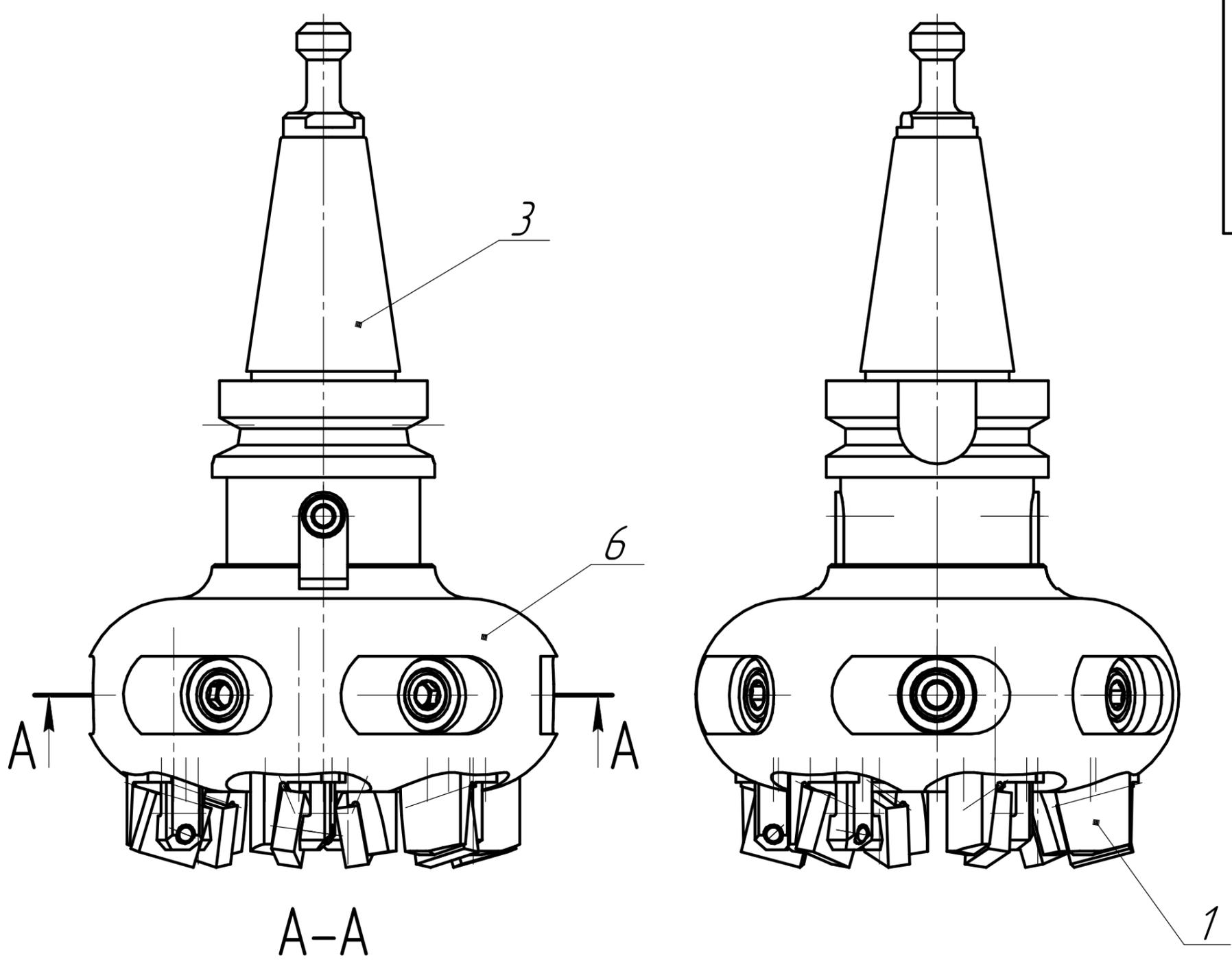


Резцовый блок: а - главный вид; б - вид сверху; в - 3D модель; 1, 2, 3 - установочная база, 4 и 5 - направляющая база, 6 - опорная база, 7 - корпус режущего инструмента, 8 - сменная режущая пластина, 9 - прихват, 10 - винт, 11 - штифт



Резцовый блок: а - главный вид; б - вид сверху; в - 3D модель; 1, 2, 3 - установочная база, 4 и 5 - направляющая база, 6 - опорная база, 7 - корпус режущего инструмента, 8 - сменная режущая пластина, 9 - прихват, 10 - винт, 11 - штифт, 12 - опора коническая

МД-М21368002010.02.00.00-30-2023				Лист	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	Блоки резцовые	
Разраб.	Голоцкий МА			15.07.2023	Лист	Листов 1
Проб.	Попок НН				1-368002	
Т.контр.					УО "ПГУ", г. Новополюцк	
Исполн.					Формат А1	
Утв.	Попок НН				Копировал	



1. После установки фрезы 6 на оправку 3, резьбу винта М10 смазать loctite 245 и затянуть с необходимым усилием согласно таблицы
2. Винты механизма зажима 2 затянуть с необходимым усилием после установки резцовых блоков 1 согласно таблицы.

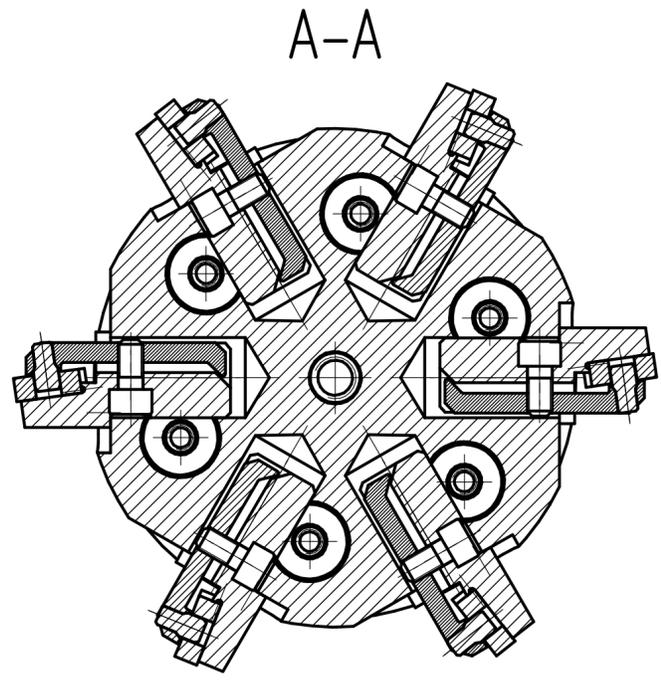
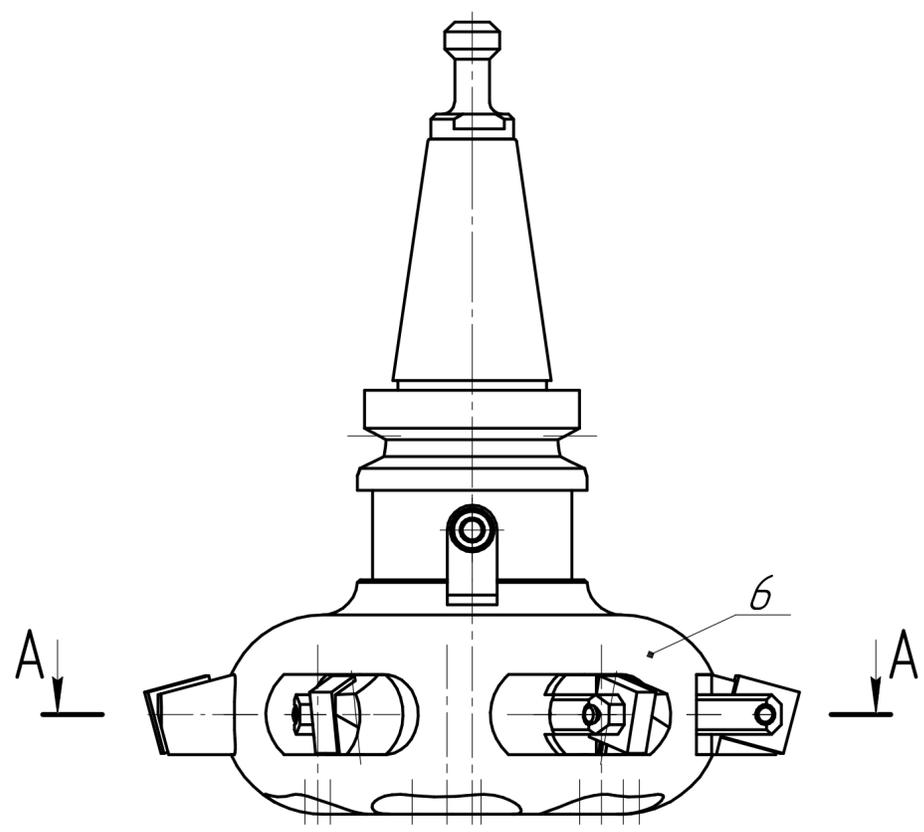
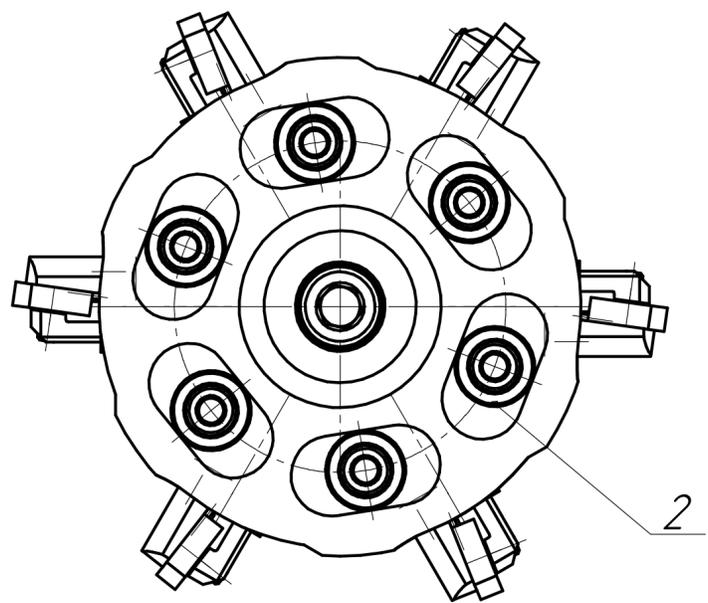
Справ. №	Перв. примен.
----------	---------------

Изм. № подл.	Подп. и дата
Изм. № инв.	Подп. и дата
Изм. № дробл.	Подп. и дата
Изм. № инв.	Подп. и дата

Изм. Лист	№ док.им.	Подп.	Дата
Разраб.	Бабашинский М.А		15.01.2023
Проб.	Попок Н.Н		
Т.контр.			
Н.контр.			
Утв.	Попок Н.Н		

МД-М211368002010.03.00.00СБ-30-2023			
Фреза универсальная торцовая	Лит.	Масса	Масштаб
		2,59	1:1
	Лист	Листов	1
1-368002			
УО"ПГУ", з.Новополюцк			





1. После установки фрезы 6 на оправку 3, резьбу винта М10 смазать Loctite 245 и затянуть с необходимым усилием согласно таблицы.  
 2. Винты механизма зажима 2 затянуть с необходимым усилием после установки блоков 1, согласно таблицы.

				МД-М211368002010.03.00.00-01СБ-30-2023				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Фреза универсальная дисковая	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Бадашинский МА		15.01.2023			2,59	1:1
Проб.		Попок НН				Лист	Листов	1
Т.контр.						1-368002		
Н.контр.						УО"ПГУ", г.Новополюк		
Утв.		Попок НН				Копировал		
						Формат А2		

Справ. №

Перв. исполн.

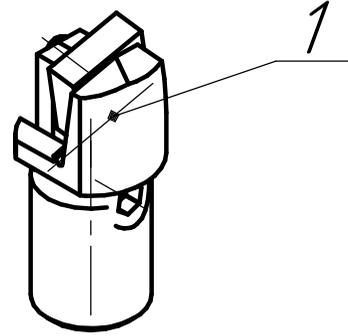
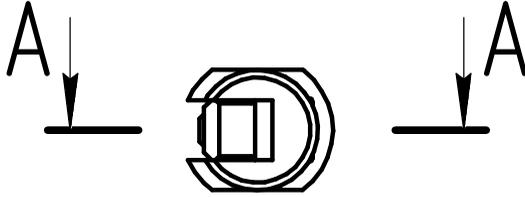
КОМПАС-3D v20 Четырех версия © 2021 ООО "АПОС-Системы проектирования", Россия. Все права защищены. Инв. № подл. Подп. и дата. Взам. инв. № Инв. № дудл. Подп. и дата.



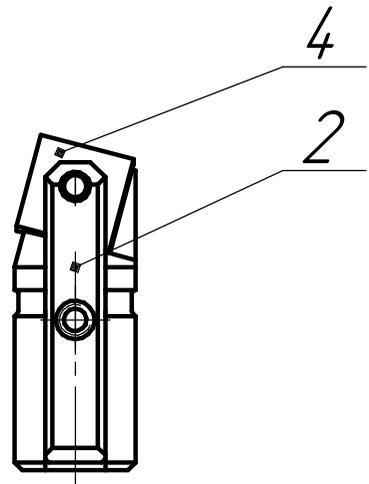
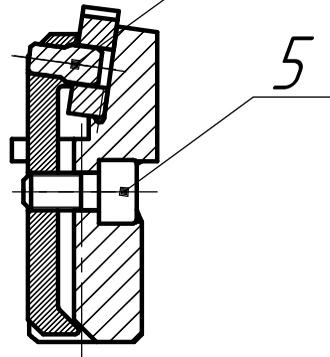
МД.М211368002010.03.01.00.СБ-30-2023

Перв. примен.

Справ. №



A-A 3



1. Резьбовое соединение перед сборкой смазать графитовой или специальной высокотемпературной смазкой для резьбовых соединений режущего инструмента.

МД.М211368002010.03.01.00.СБ-30-2023

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Бадашинский М.А		11.01.2023
Пров.		Попок Н.Н		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Попок Н.Н		

Блок резцовый

Лит.	Масса	Масштаб
	0,06	1:1

Лист 1 Листов 1

Сталь 40X ГОСТ 1050-2013

1-368002  
УО"ПГУ", з.Новополюцк

Подп. и дата

Инд. № дробл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

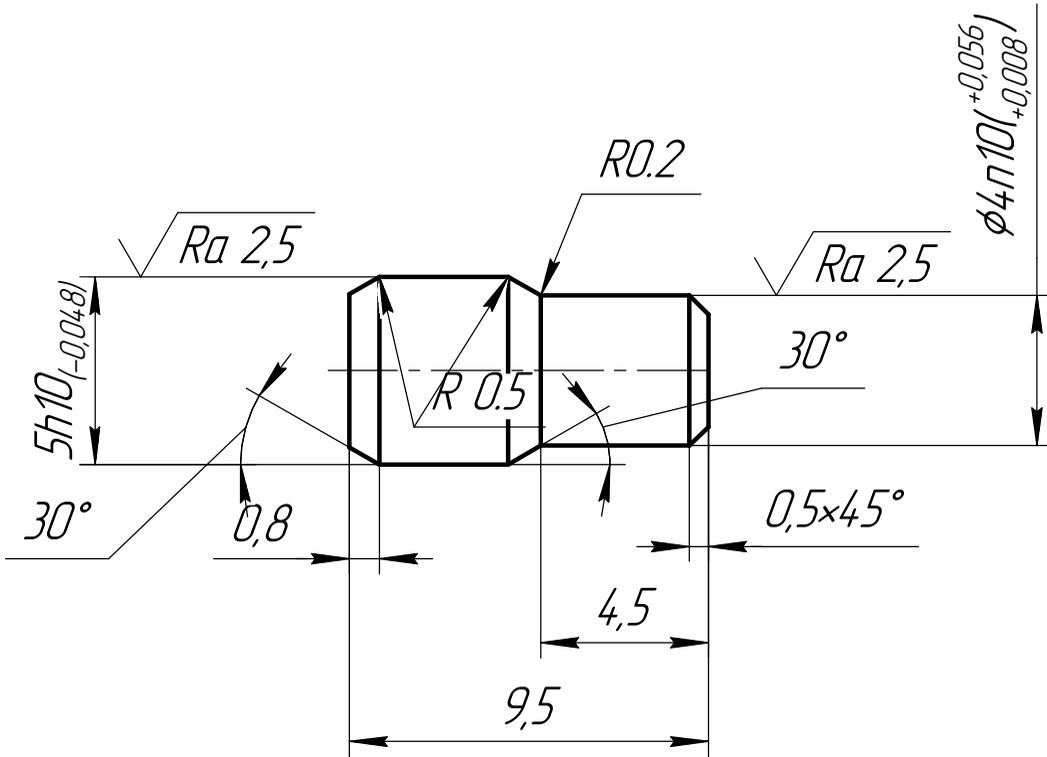
Инд. № подл.





МД-М211368002010.03.01.03-30-2023

$\sqrt{Ra\ 3,2\ (\checkmark)}$

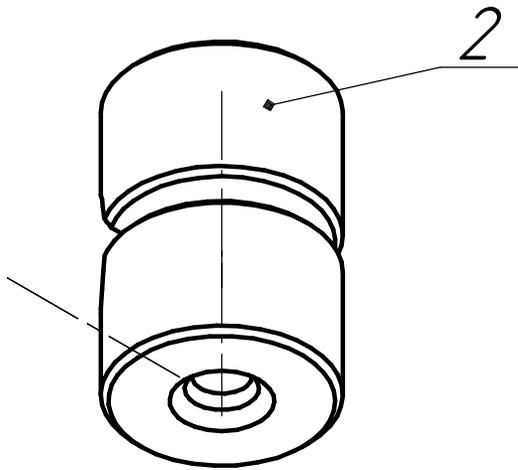
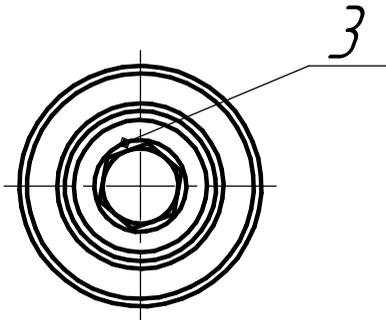
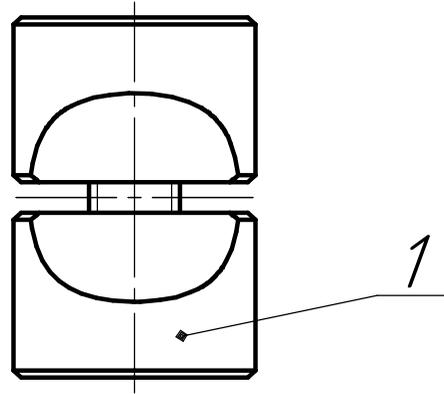
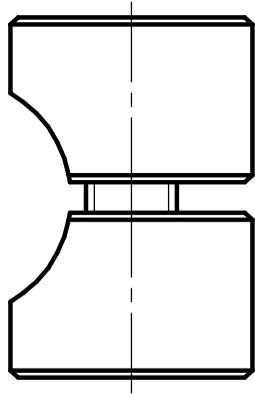


1 Общие допуски по ГОСТ 30893.1  
2 HRCэ 28...35

КОМПАС-3D v20 Учебная версия © 2021 ООО "АСОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Справ. №	Перв. примен.						
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	МД-М211368002010.03.01.03-30-2023  <b>Штифт</b>  Сталь 40X ГОСТ 1050-88  1-368002 ЧО "ПГУ", з.Новополюцк		
Разраб.		Бадашинский М.А.		05.01.2023			
Пров.		Попок Н.Н.					
Т.контр.							
Н.контр.							
Утв.		Попок Н.Н.			Лит.	Масса	Масштаб
						0.001	5:1
					Лист	Листов	1
Не для коммерческого использования					Копировал		
					Формат А4		

МД-М211368002010.03.02.00.СБ-30-2023



1. Допускается применение винтов на один класс прочности выше.
2. Перед сборкой смазать резьбовое соединение графитовой или специальной высокотемпературной смазкой для режущего инструмента.

МД-М211368002010.03.02.00.СБ-30-2023

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Бадашинский М.А		12.01.2023
Пров.		Попок Н.Н		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Попок Н.Н		

МЕХАНИЗМ  
ЗАЖИМНОЙ

Лит.	Масса	Масштаб
	0,03	2:1
Лист		Листов 1
1-368002 УО"ПГУ", г.Новополоцк		

Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А4

Инв. № подл.

Взам. инв. №

Инв. № дробл.

Подп. и дата

Подп. и дата

Справ. №

Перв. примен.

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						<u>Документация</u>		
		A4			МД-М211368002010.03.02.00.СБ-30-2023	Механизм зажимной		
						<u>Детали</u>		
				1	МД-М211368002010.03.02.01-30-2023	Сухарь резьбовой	1	
				2	МД-М211368002010.03.02.02-30-2023	Сухарь упорный	1	
				3	МД-М211368002010.03.02.03-30-2023	Винт М6-6дх16.109.40Х	1	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Бабашинский М.А		12.01.2023
Пров.		Полок Н.Н		
Н.контр.				
Утв.		Полок Н.Н		

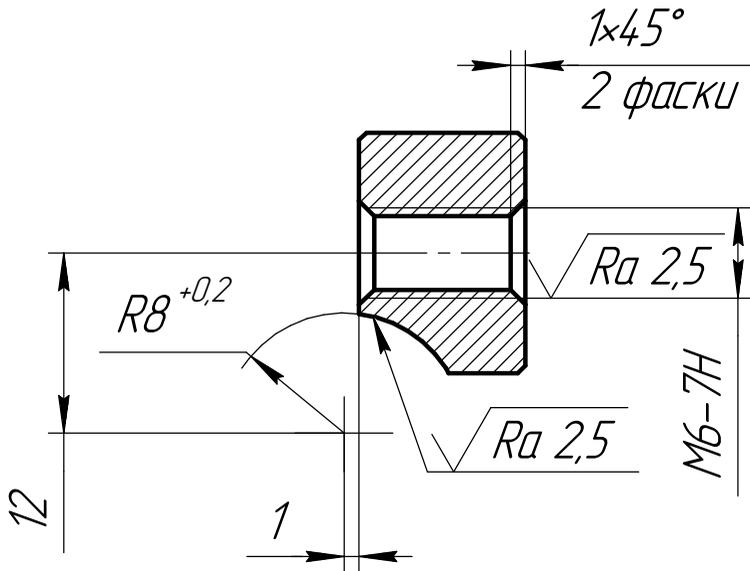
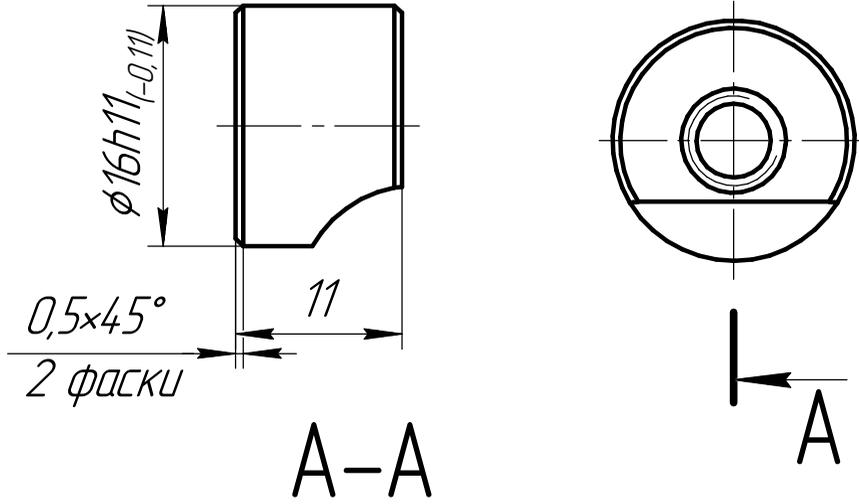
МД-М21136800210.03.03.00.СБ-30-2023

**МЕХАНИЗМ  
ЗАЖИМНОЙ**

Лит.	Лист	Листов
		1
1-368002 УО"ПГУ", г.Новополоцк		

МД-М211368002010.03.02.01-30-2023

$\sqrt{Ra\ 3,2\ (\checkmark)}$



1 Общие допуски по ГОСТ 30893.1  
2 HRCэ 40...45

МД-М211368002010.03.02.01-30-2023

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Бадашинский М.А		05.01.2023
Пров.		Попок Н.Н		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Попок Н.Н		

Сухарь  
резьбовой

Лит.	Масса	Масштаб
	0,01	2:1
Лист		Листов 1

Сталь 40X ГОСТ 4543-2016

1-368002  
УО "ПГУ", г.Новополоцк

Перв. примен.

Справ. №

КОМПАС-3D v20 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Подп. и дата

Инд. № дробл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

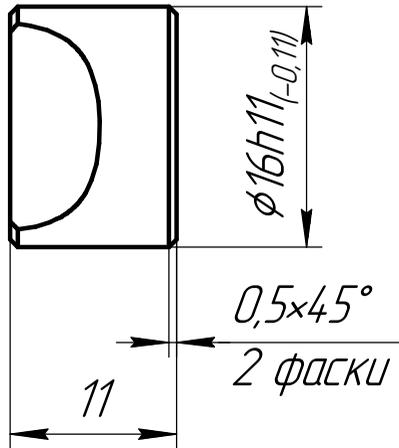
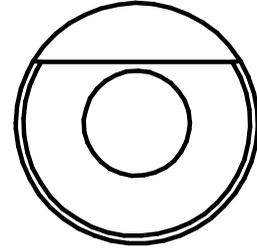
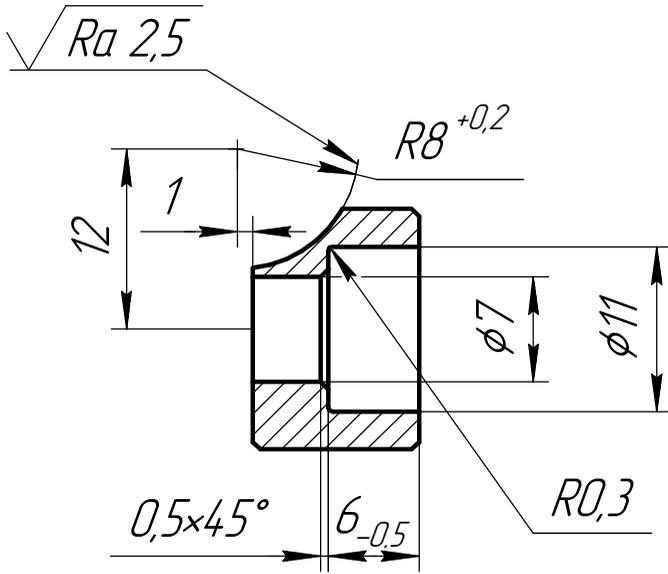
Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А4

МД-М211368002010.03.02.02-30-2023

$\sqrt{Ra\ 3,2\ (\checkmark)}$



1 Общие допуски по ГОСТ 30893.1  
2 HRC3 40..45

МД-М211368002010.03.02.02-30-2023

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Бадашинский М.А		05.01.2023
Пров.		Попок Н.Н		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Попок Н.Н		

Сухарь  
упорный

Лит.	Масса	Масштаб
	0,01	2:1
Лист		Листов 1

Сталь 40X ГОСТ 4543-2016

1-368002  
УО "ПГУ", г.Новополоцк

Перв. примен.

Справ. №

КОМПАС-3D v20 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Подп. и дата

Инд. № докл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

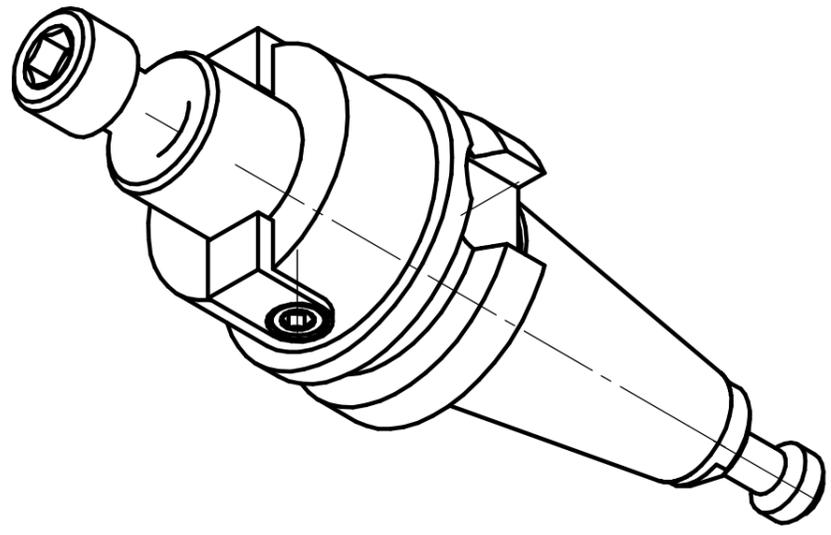
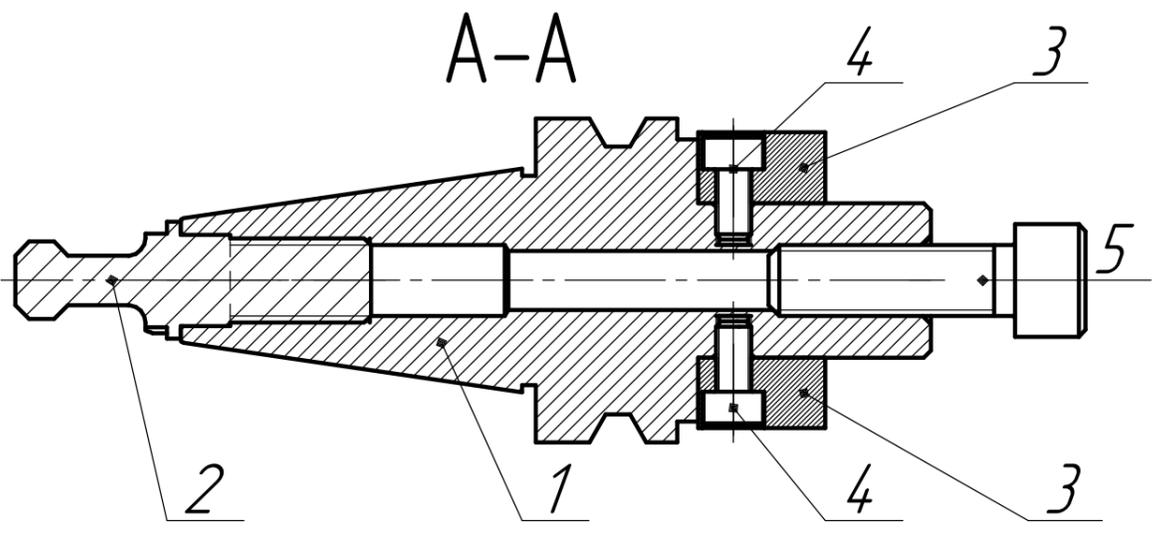
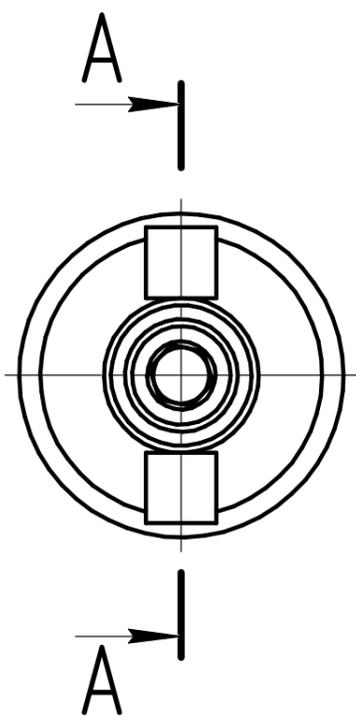
Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А4

МД-М211368002010.03.03.00.СБ-30-2023

Перв. примен.  
Справ. №



1. Резьбовое соединение 2 Тяга- смазать фиксатором для резьб Loctite 234 или его аналогом.
2. Остальные резьбовые соединения перед сборкой смазать графитовой смазкой или другой высоко-температурной для резьб в режущих инструментах.
3. Допускается применение винтов на один класс прочности выше.
4. Винт 5 выкрутить перед установкой фрезы, а после её установки завернуть обратно согласно таблицы усилий зажима.

КОМПАС-3D v20 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-системы проектирования", Россия. Все права защищены.  
Изм. № подл. Подп. и дата  
Изм. № дцкл. Подп. и дата  
Изм. № инв. Подп. и дата  
Изм. № инв. Подп. и дата

				МД-М211368002010.03.03.00.СБ-30-2023				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Оправка ВТ30</b>	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Бадашинский М.А		12.01.2023			0,67	1:1
Проб.		Попок Н.Н				Лист		Листов 1
Т.контр.						1-368002		
Н.контр.					УО"ПГУ", г.Новополоцк			
Утв.		Попок Н.Н			Копировал			
						Формат А3		

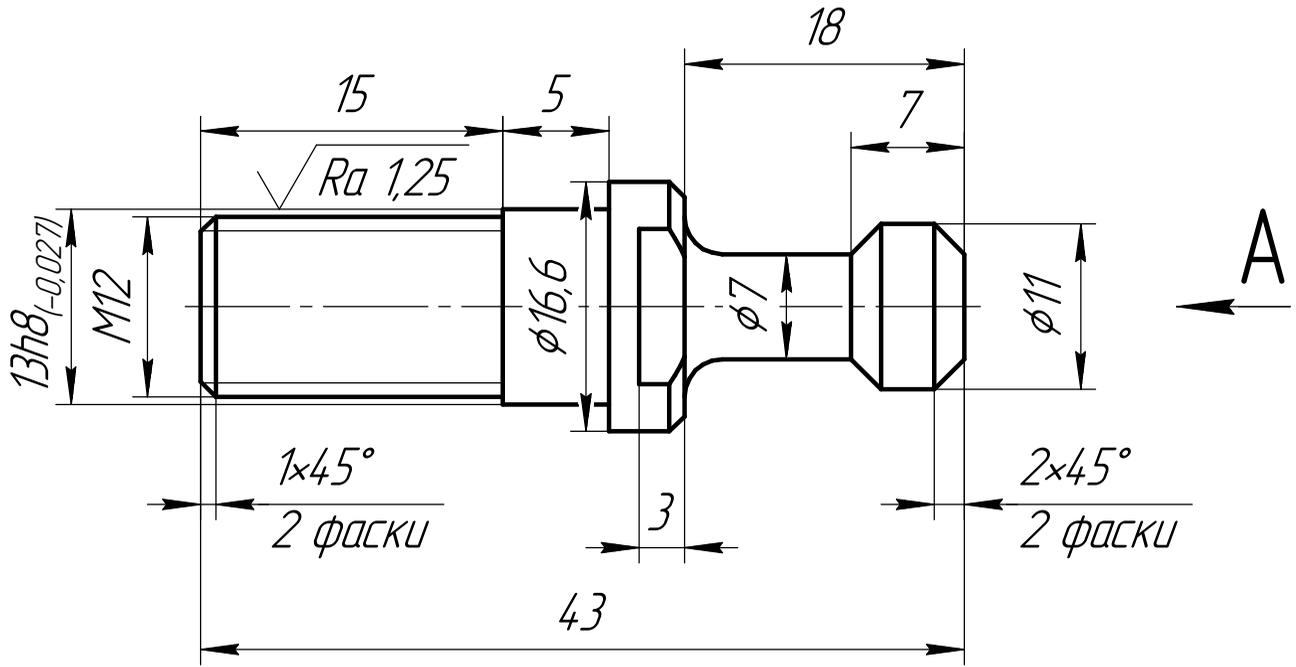
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
A3			МД-М211368002010.03.03.00.СБ-30-2023	Оправка ВТ30		
				<u>Детали</u>		
		1	МД-М211368002010.03.03.01-30-2023	Оправка ВТ30-FMB22-45	1	
		2	МД-М211368002010.03.03.02-30-2023	Тяга	1	
		3	МД-М211368002010.03.03.03-30-2023	Шпонка специальная	2	
		4	МД-М211368002010.03.03.04-30-2023	Винт М5-6дх10.88.40Х ГОСТ 11738-84	2	
		5	МД-М211368002010.03.03.05-30-2023	Винт М10-6дх35.88.40Х ГОСТ 11738-84	1	

МД-М211368002010.03.03.00.СБ-30-2023				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
	Разраб.	Бабашинский М.А		12.01.2023
	Пров.	Попок Н.Н		
	Н.контр.			
	Утв.	Попок Н.Н		
Оправка ВТ30			Лит.	Лист
				Листов
				1
			1-368002	
			УО"ПГУ", г.Новополоцк	



МД-М211368002010.03.03.02-30-2023

$\sqrt{Ra\ 2,5\ (\checkmark)}$



1 HRC 32...40

2 Общие допуски по ГОСТ 30893.1

3 Общие допуски формы и расположения - ГОСТ 30893.2-К.

МД-М211368002010.03.03.02-30-2023

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Бадашинский М.А.		05.01.2023
Пров.		Попок Н.Н.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Попок Н.Н.		

**Тяга**

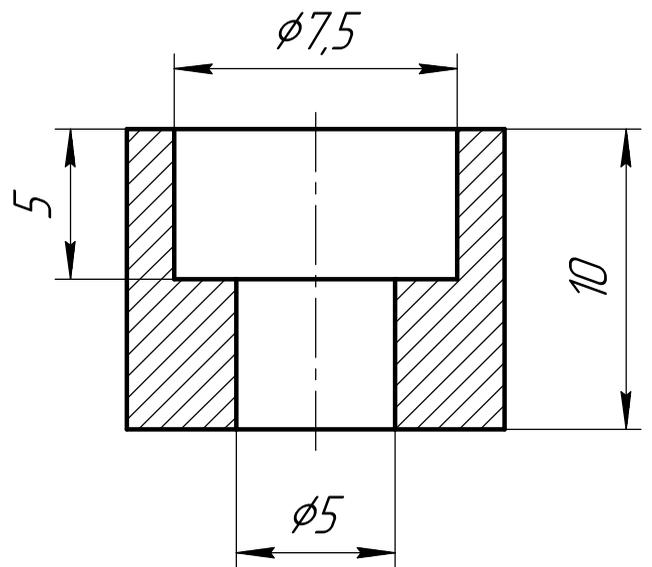
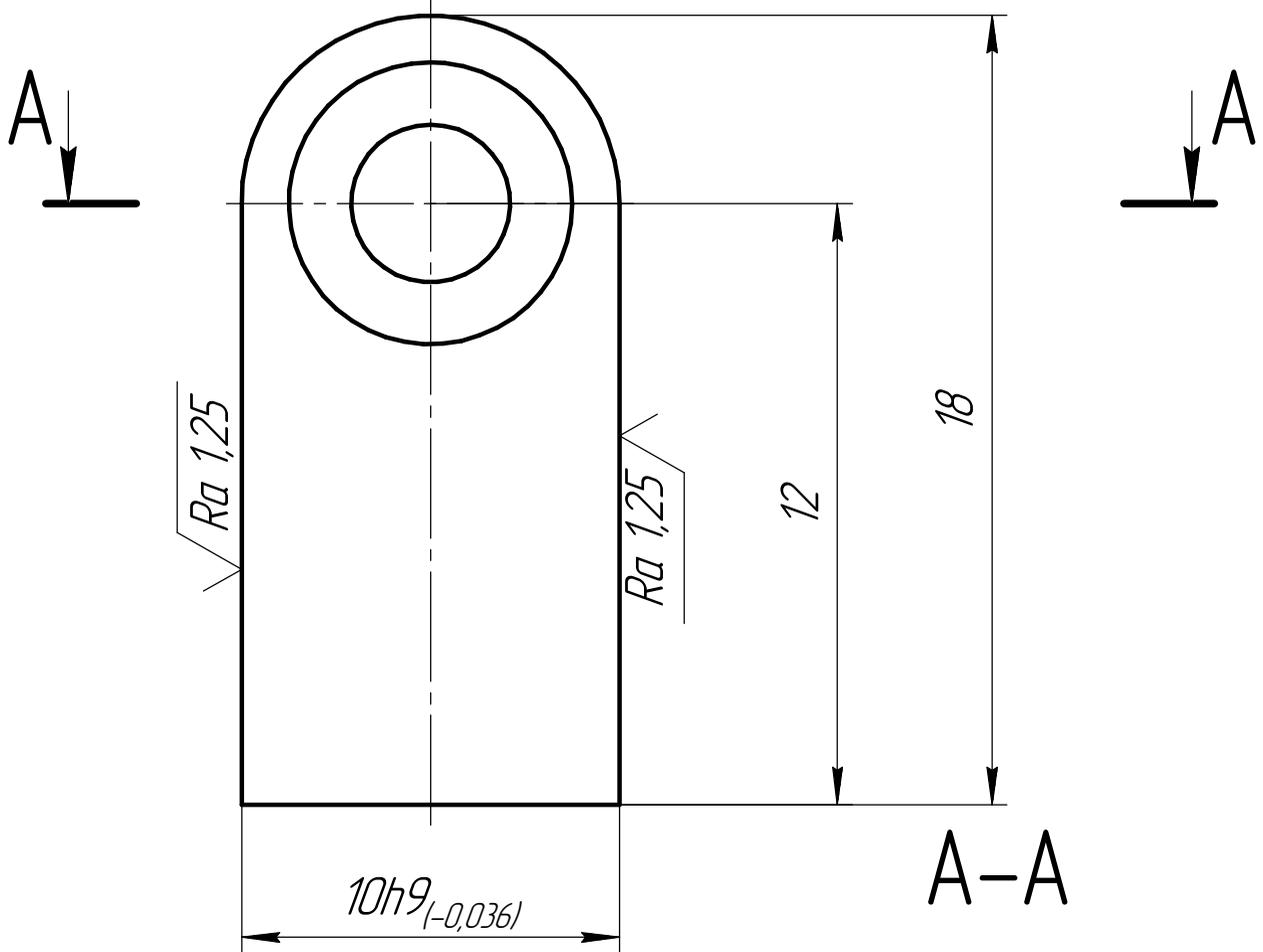
Лит.	Масса	Масштаб
	0,03	4:1
Лист		Листов 1

Сталь 40X ГОСТ 4543-2016

1-368002  
УО "ПГУ", г.Новополоцк

МД-М211368002010.03.03.03-30-2023

$\sqrt{Ra\ 3,2\ (\checkmark)}$



КОМПАС-3D v20 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дробл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

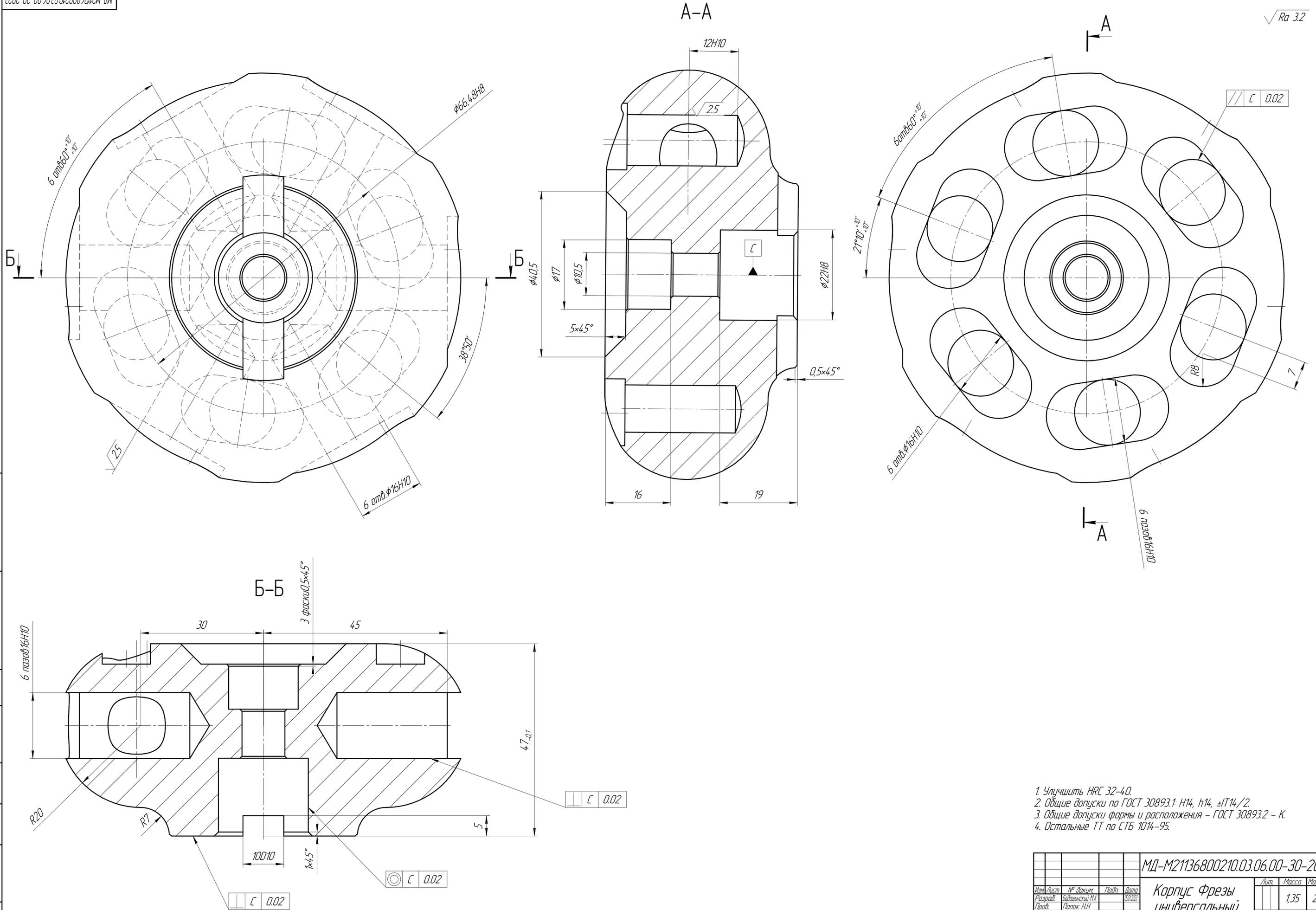
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Бадашинский М.А		05.01.2023
Пров.		Попок Н.Н		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Попок Н.Н		

МД-М211368002010.03.03.03-30-2023

Шпонка специальная

Сталь 40Х ГОСТ 4543-2016

Лит.	Масса	Масштаб
	0,019	4:1
Лист		Листов 1
1-368002 УО"ПГУ", з.Новополюцк		



1. Улучшить HRC 32-40.
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1 H14, h14,  $\pm IT14/2$ .
3. Общие допуски формы и расположения - ГОСТ 30893.2 - К.
4. Остальные ТТ по СТБ 1014-95.

МД-М21136800210.03.06.00-30-2023				Лист	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	1,35	2,5:1
Разраб.	Борисовский МА			15.02.2023		
Проб.	Попок НН					
Т.контр.						
Н.контр.						
Утв.	Попок НН					
Корпус Фрезы универсальный				Лист	Листов	1
Сталь 40X ГОСТ 4543-2016				1-368002		
				УОПГУ, г. Новополюцк		
				Формат А1		

ЮРИДИЧЕСКОЕ ЛИЦО: ООО "УФОР-Вектор" © 2021 ООО "УФОР-Вектор" является правообладателем. Разрешено все права защищены. Любое использование без письменного разрешения ООО "УФОР-Вектор" является нарушением. Любые изменения вносятся только по согласованию с ООО "УФОР-Вектор".

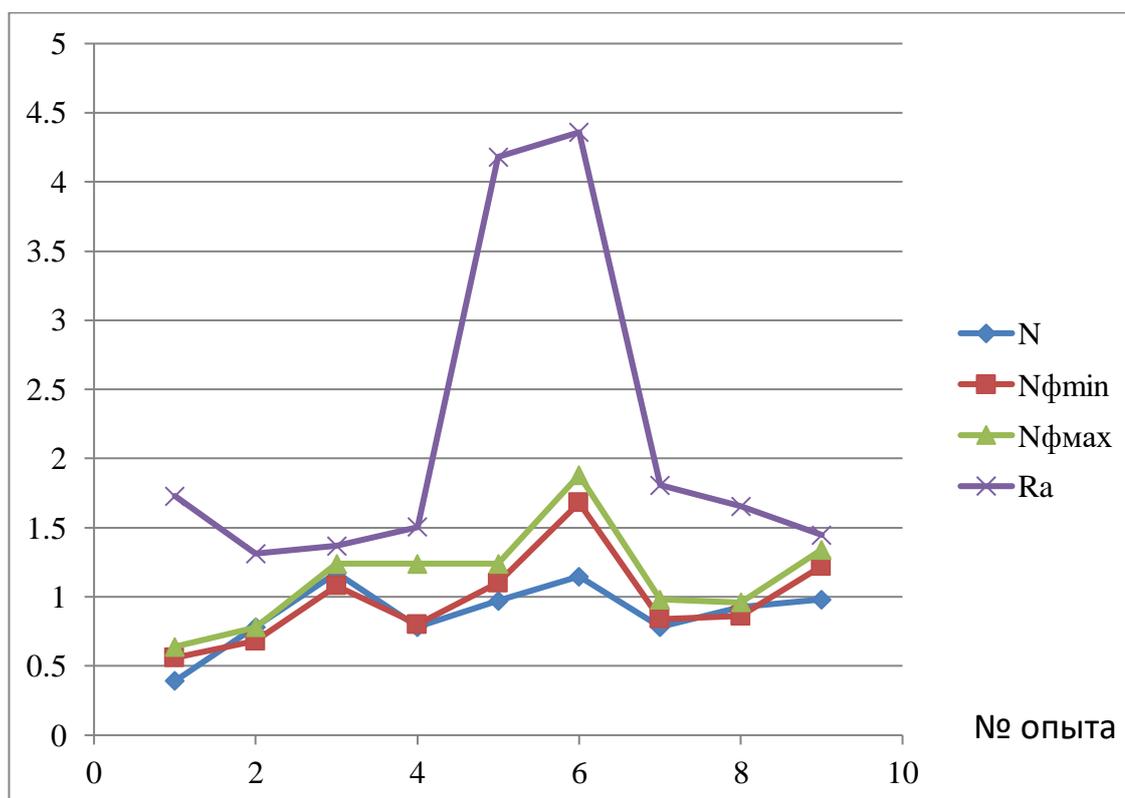
**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**  
**Результаты исследования**

## Результаты проведения испытаний универсальной фрезы.

### Результаты испытания универсальной торцовой фрезы:

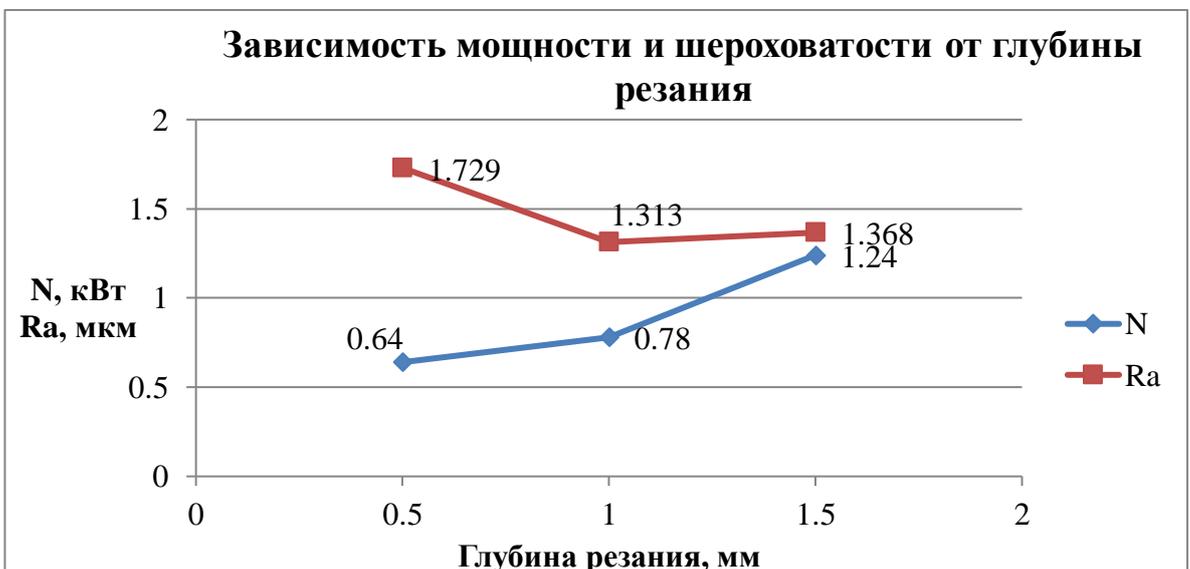
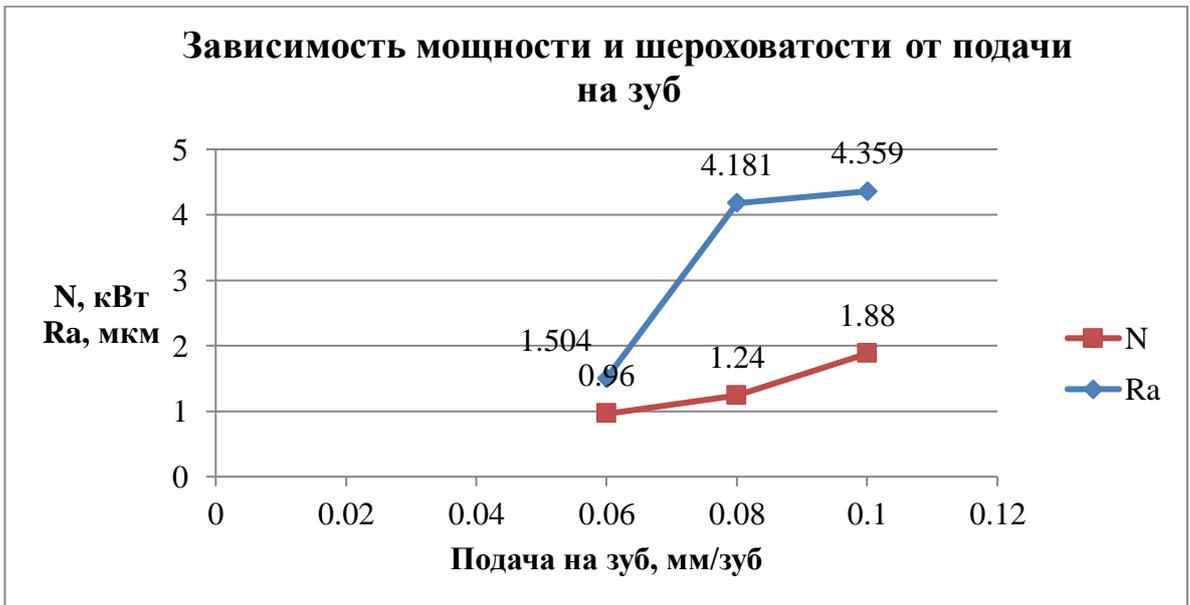
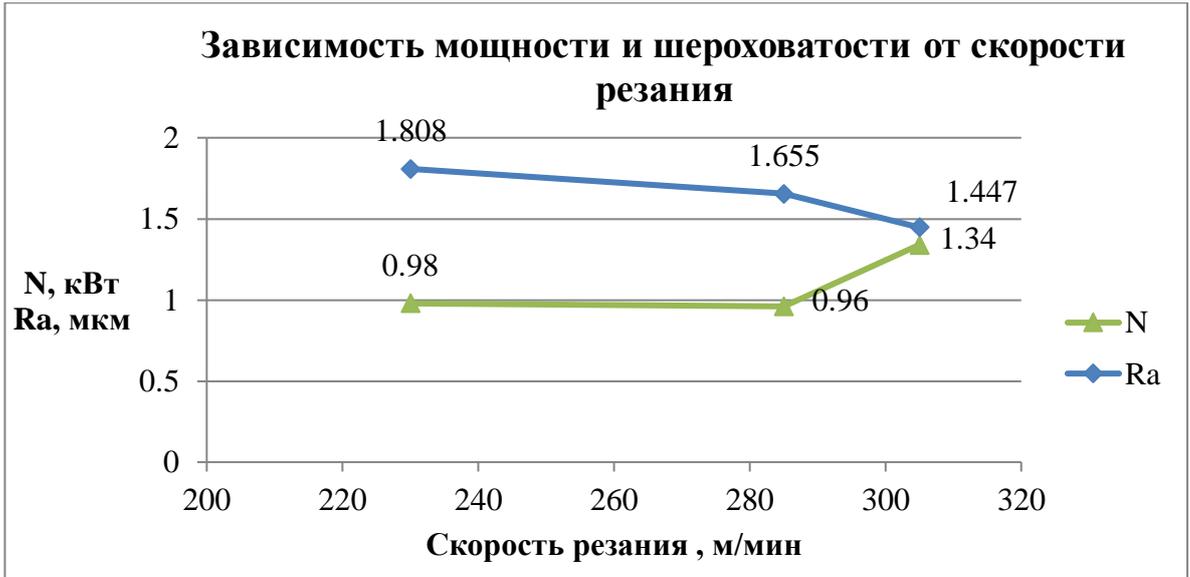
№опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pz	104,0683	208,1367	312,205	208,1367	258,2573	305,3059	208,1367	199,2942	196,7983
N	0,391106	0,782213	1,173319	0,782213	0,970575	1,147391	0,782213	0,928086	0,980776
Nφmin	0,56	0,68	1,08	0,8	1,1	1,68	0,84	0,86	1,22
Nφmax	0,64	0,78	1,24	1,24	1,24	1,88	0,98	0,96	1,34
Ra	1,729	1,313	1,368	1,504	4,181	4,359	1,808	1,655	1,447
Номер оп t	Sz	n	v						
1	0,5	0,06	990	230					
2	1	0,06	990	230					
3	1,5	0,06	990	230					
4	1	0,06	990	230					
5	1	0,08	990	230					
6	1	0,1	990	230					
7	1	0,06	990	230					
8	1	0,06	1230	285					
9	1	0,06	1310	305					

Графики зависимости: мощности и шероховатости от режимов резания



Обобщенный график опытов, где приведены необходимые сведения о максимальной и минимальной мощности потребляемой станком, а также шероховатости поверхности.

**Графики зависимость: мощности и шероховатости от режимов резания**



## Зависимость усадки стружки от режимов резания

### Определение коэффициентов $k_a, k_b, k_l$

$k_a$ -коэффициент утолщения стружки.

$k_b$ -коэффициент уширения стружки.

$k_l$ -коэффициент укорочения стружки.

**Графики зависимостей коэффициентов:  $k_a, k_b, k_l$  от разных режимов резания.**

Таблица результатов к графику от глубины резания.

$k_a$	$k_b$	$k_l$	$t, \text{ мм}$
2,5	1,4	3,5	0,5
2,85	0,89	2,5	1
2,64	0,7	1,84	1,5

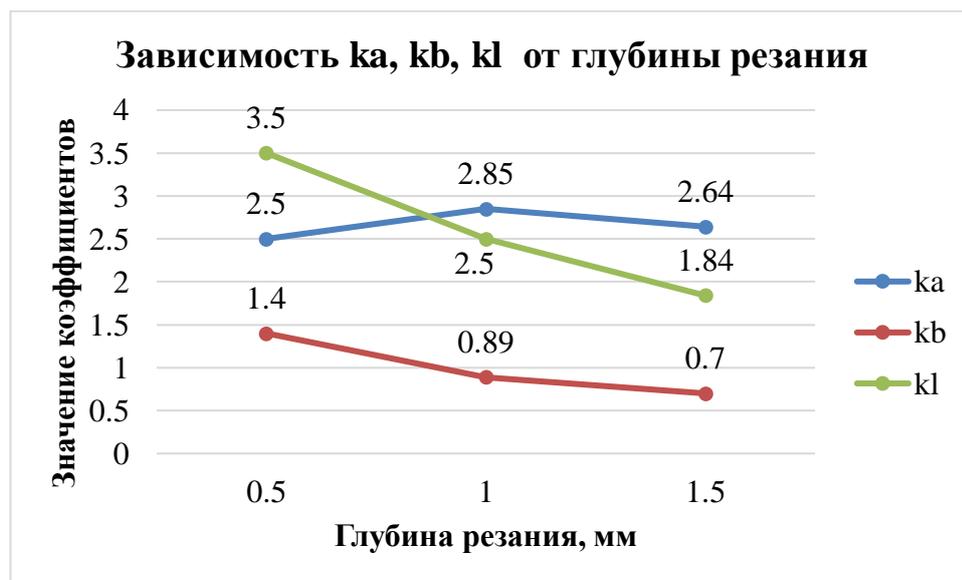


Таблица результатов к графику от подачи.

ka	kb	kl	S, мм/об
2,71	0,86	2,33	0,18
2,26	1,08	2,44	0,24
2	1,19	2,38	0,3

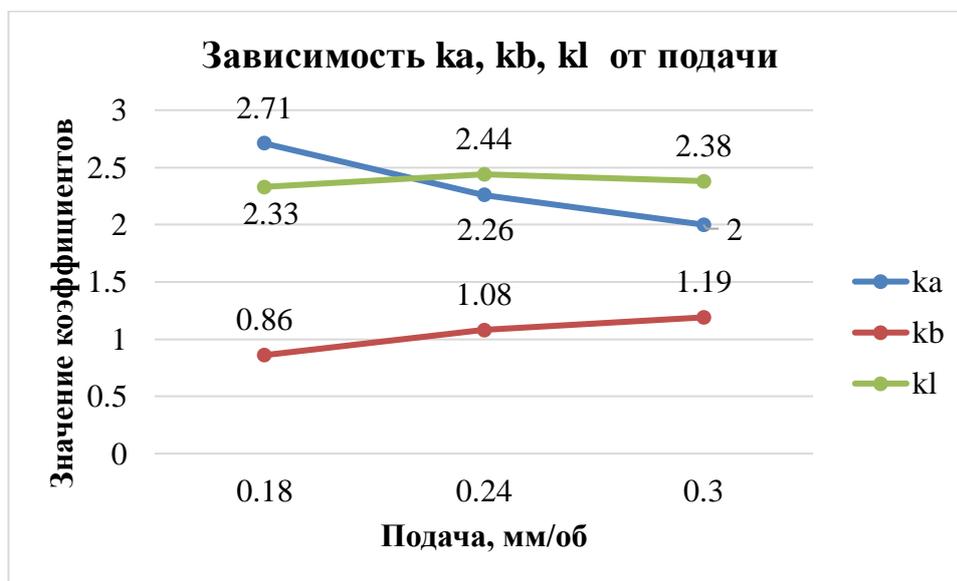
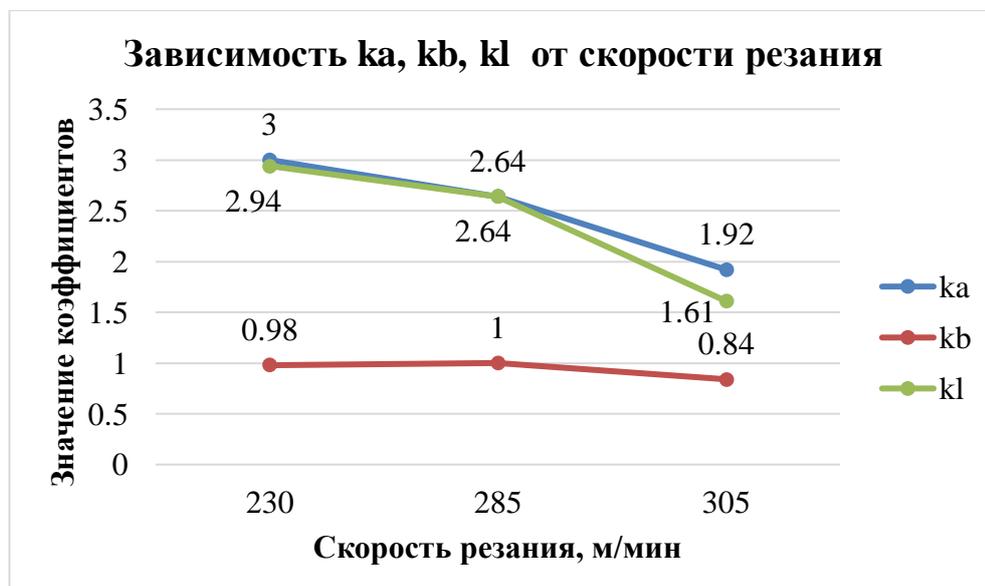


Таблица результатов к графику от скорости резания.

ka	kb	kl	v, м/мин
3	0,98	2,94	230
2,64	1	2,64	285
1,92	0,84	1,61	305

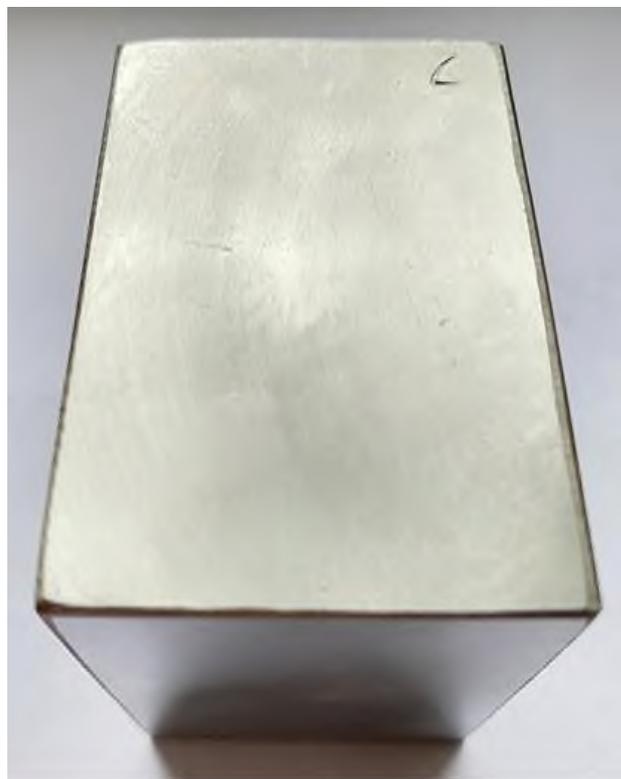
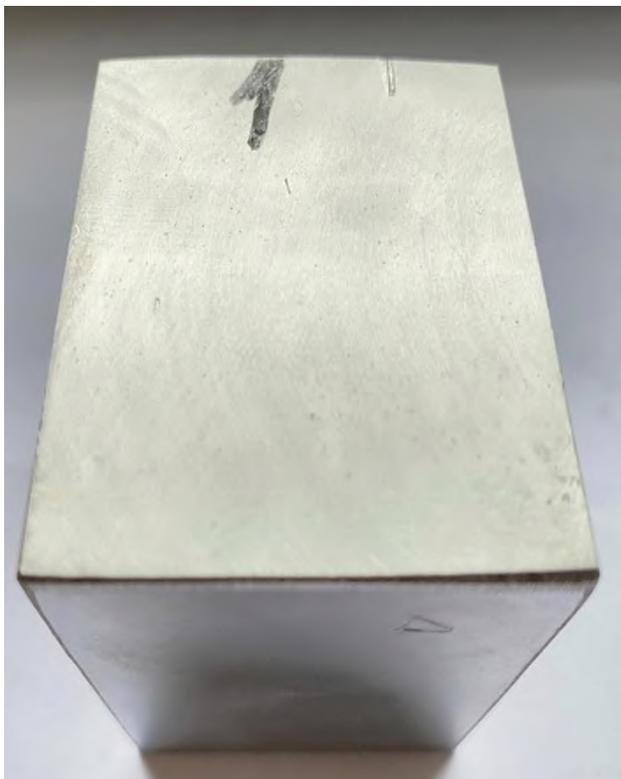




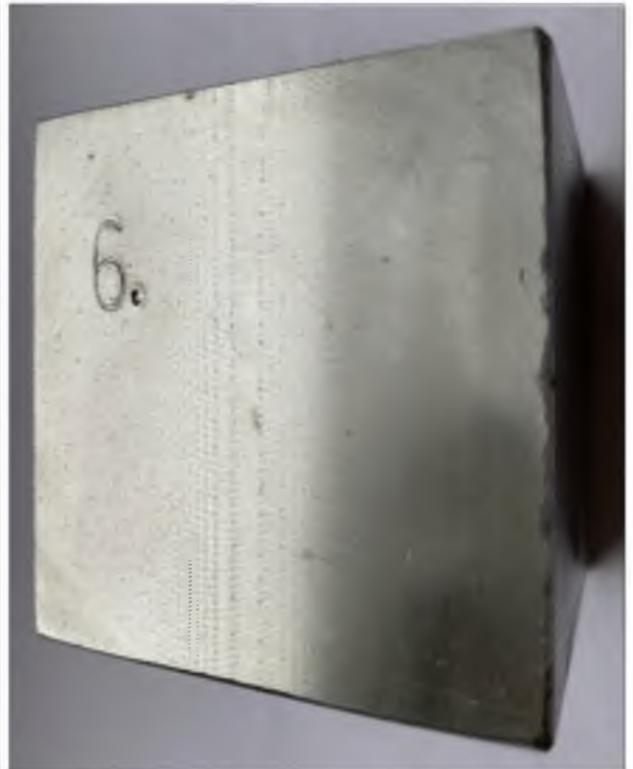
**Снимок: фреза универсальная торцовая обрабатывает наружную поверхность подготовленного образца**

**Снимки: шероховатостей образцов после обработки универсальной торцовой фрезой.**

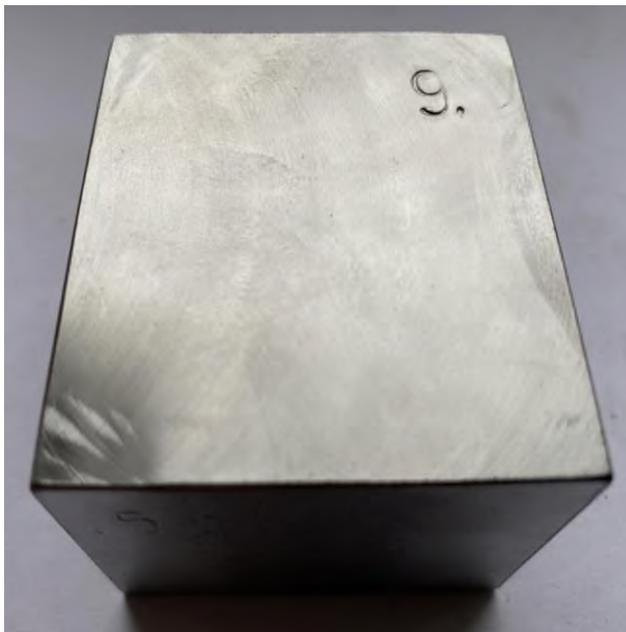
**ОБРАЗЦЫ: 1-4**



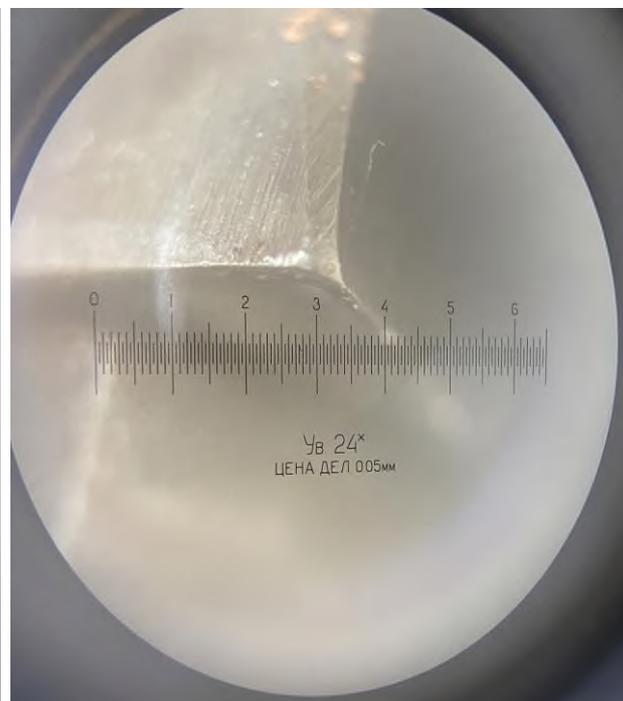
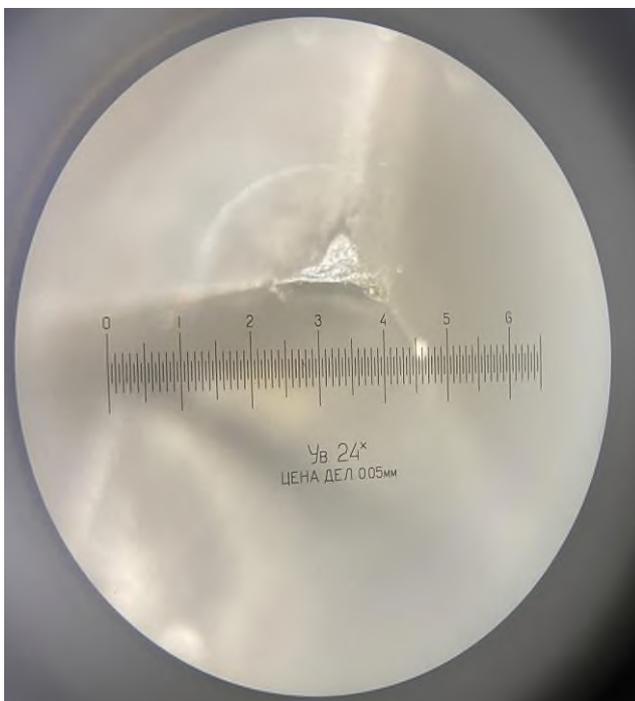
ОБРАЗЦЫ: 5-8



ОБРАЗЕЦ: 9



**Снимки измерения шероховатости.**

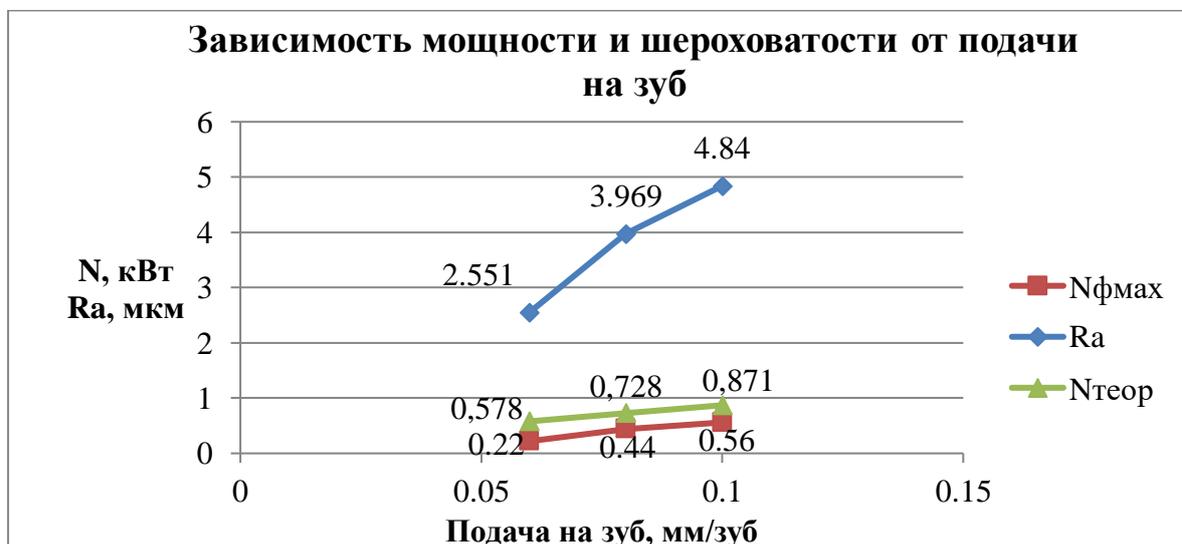
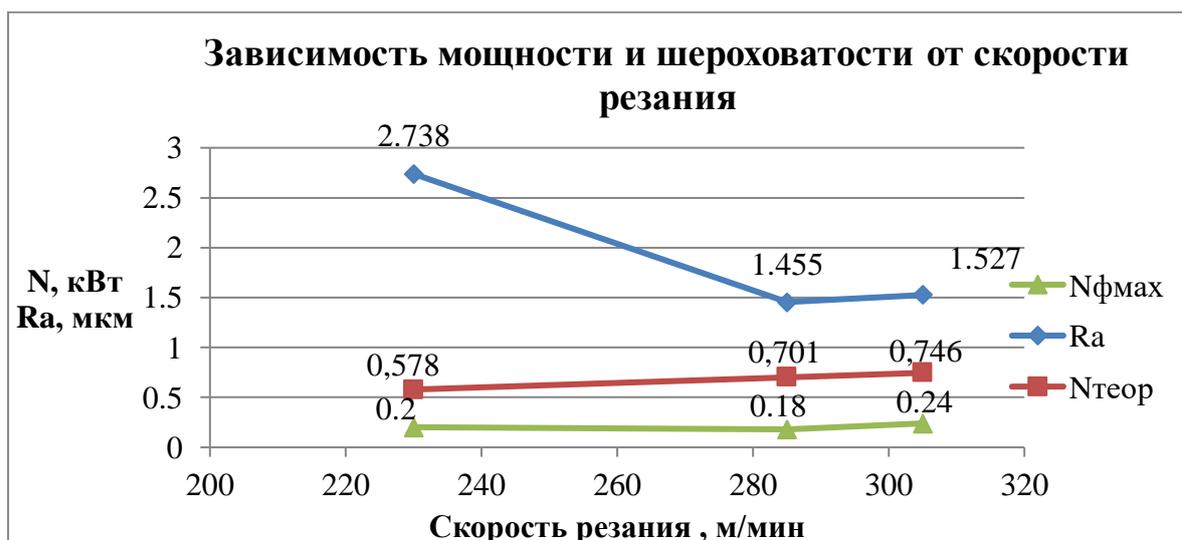


## Результаты испытания универсальной дисковой фрезы:

Таблица результатов проведения испытаний

№опыта	1	2	3	4	5	6
Pz	154,0419	193,9054	231,8024	154,0419	150,7293	149,7669
Nтеор	0,578916	0,728729	0,871153	0,578916	0,701926	0,746387
Nфmin	0,16	0,3	0,36	0,16	0,14	0,18
Nфmax	0,22	0,44	0,56	0,2	0,18	0,24
Ra	2,551	3,969	4,84	2,738	1,455	1,527
Номер опыта	t	Sz	n	v		
1	0,5	0,06	523	230		
2	0,5	0,08	523	230		
3	0,5	0,1	523	230		
4	0,5	0,06	523	230		
5	0,5	0,06	650	285		
6	0,5	0,06	693	305		

### Графики зависимости от режимов резания





**Снимок: фреза универсальная дисковая обрабатывает боковую поверхность подготовленного образца (направление подачи сверху в низ, плунжерное фрезерование)**

**Снимки образцов поверхностей после обработки универсальной  
дисковой фрезой.**

ОБРАЗЦЫ: 1-4



ОБРАЗЦЫ: 5-6



**Снимок измерения шероховатости**

