

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Емец Валерий Сергеевич  
Должность: Директор филиала  
Дата подписания: 26.06.2025 16:43:41  
Уникальный программный ключ:  
f2b8a1573c931f1098cfe699d1debd94fcff35d7

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Рязанский институт (филиал)  
федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Московский политехнический университет»

Кафедра «Энергетические системы и точное машиностроение»

Н.В. Аверин, Н.Н. Татарников

## **РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ**

Методические указания по выполнению курсового проекта

Рязань  
2024

**УДК 621.9**  
**ББК 34.63-5**  
**А 19**

**Аверин, Н.В.**

**А19** Режущий инструмент: методические указания по выполнению курсового проекта / Н.В. Аверин, Н.Н. Татарников. – Рязань : Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, 2024. – 64 с.

В методических указаниях представлен краткий теоретический материал, рекомендации по выбору инструмента, пример выполнения задания для одного из инструментов, пример чертежа к курсовому проекту по дисциплине «Режущий инструмент».

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств всех форм обучения.

Печатается по решению методической комиссии Рязанского института (филиала) Московского политехнического университета.

**УДК 621.9**  
**ББК 34.63-5**

© Аверин Н.В., Татарников Н.Н., 2024  
© Рязанский институт (филиал)  
Московского политехнического  
университета, 2024

## Содержание

Введение .....	4
1 Общие сведения .....	5
2 Краткие теоретические сведения .....	7
2.1 Производители режущих инструментов и инструментальной оснастки .....	7
2.2 Группы обрабатываемости по ISO .....	7
2.3 Материалы режущих инструментов .....	9
2.3.1 Быстрорежущие стали .....	10
2.3.2 Твёрдые сплавы .....	12
2.3.3 Режущая керамика и СТМ .....	15
2.3.4 Покрытия режущих инструментов .....	16
3 Номенклатура режущего инструмента .....	19
3.1 Резцы .....	19
3.2 Фрезы .....	22
3.3 Инструмент для обработки отверстий .....	25
3.4 Абразивный инструмент .....	28
4 Обозначение режущего инструмента по ISO .....	34
5 Инструментальная оснастка .....	36
5.1 Инструментальная оснастка токарных станков с ЧПУ .....	36
5.2 Инструментальная оснастка фрезерных станков с ЧПУ .....	39
6 Методика выбора режущего инструмента по каталогу .....	46
6.1 Выбор режущего инструмента при помощи электронного каталога .....	46
6.2 Выбор режущего инструмента при помощи интерактивного каталога .....	48
6.3 Выбор режущего инструмента при помощи «умного» каталога .....	49
Библиографический список .....	53
Приложение А .....	55
Приложение Б .....	56
Приложение В .....	59
Приложение Г .....	61
Приложение Д .....	63

## **Введение**

Для современных машиностроительных предприятий оснащение станками с ЧПУ является необходимым условием работы. Вследствие этого, все технологические процессы проводят стандартизованным режущим инструментом.

Следовательно, одной из задач технолога является выбор режущего инструмента для разработанного технологического процесса: резцов, фрез, резьбообразующего инструмента, инструмента для обработки отверстий, зуборезного инструмента.

В ходе выполнения курсового проекта по дисциплине «Режущий инструмент» студент осваивает навыки рационального выбора режущего инструмента (в т. ч. назначении его геометрических характеристик, выборе материала и износостойкого покрытия режущей части) и инструментальной оснастки для реализации технологического процесса механической обработки детали с учётом современных тенденций производства металлорежущего инструмента.

## 1 Общие сведения

В состав курсового проекта по дисциплине «Режущий инструмент» входит расчетно-пояснительная записка и чертеж формата А1. Для выполнения курсового проекта студенту необходим чертеж детали, полученной в ходе прохождения производственной практики (технологической), утвержденный заведующим кафедрой с указанием объема выпуска данной детали (шт./год).

Для выполнения курсового проекта студенту необходимо выполнить следующие действия.

1. Осуществить обоснованный выбор режущего инструмента из каталогов производителей и для каждого режущего инструмента привести в пояснительной записке:

- название и обозначение режущего инструмента;
- 3D модель режущего инструмента;
- расшифровку обозначения режущего инструмента;
- описание геометрических характеристик режущей части;
- описание материала (с указанием примерного отечественного аналога) и износостойкого покрытия режущей части;
- технологические переходы, осуществляемые с помощью инструмента (с указанием режимов резания), фрагмент(-ы) чертежа детали с указанием обрабатываемых поверхностей;
- обозначение инструментальной оснастки.

2. Осуществить обоснованный выбор инструментальной оснастки из каталогов производителей и привести в пояснительной записке:

- название и обозначение инструментальной оснастки;
- 3D модель инструментальной оснастки;
- обоснование выбора инструментальной оснастки, её краткое описание и основные характеристики.

3. Выполнить графическую часть курсового проекта на листе формата А1, приведя на нём для каждого инструмента следующую информацию:

- обозначение и 3D модель режущего инструмента в инструментальной оснастке;
- обозначение и изображение СМП (при наличии);
- иную целесообразную графическую информацию (структуру износостойких покрытий, описание особенностей инструмента, технологический эскиз и др.).

В случае наличия однотипного режущего инструмента (например, сверла одной серии, но разных диаметров) изображение инструмента приводится один раз, а рядом располагается таблица, содержащая применяемую номенклатуру однотипного инструмента с указанием различающихся параметров (например, диаметров, функциональной длины и т. д.).

Графическая часть курсового проекта выполняется с использованием САПР T-Flex CAD.

Пояснительная записка, приложения и графическая часть курсового проекта выполняются в соответствии со стандартами, принятыми для выполнения конструкторской и технологической документации, в том числе:

- ГОСТ 2.104-2023 «Единая система конструкторской документации. Основные надписи»;

- ГОСТ Р 2.105–2019 «Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам»;

- ГОСТ Р 2.106–2019 «Единая система конструкторской документации. Текстовые документы»;

- ГОСТ 2.109-2023 «Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам»;

- ГОСТ 2.301–68 «Единая система конструкторской документации. Форматы»;

- ГОСТ 2.302–68 «Единая система конструкторской документации. Масштабы», а также иным стандартам, входящим в ЕСКД и ЕСТД;

- ГОСТ Р 7.0.100–2018 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

Текст работы выполняется шрифтом Times New Roman, кегль 14. Междустрочный интервал – полуторный. Абзацный отступ 1,25 см. Выравнивание текста по ширине. Выравнивание формул, рисунков и подписей по центру страницы. Выравнивание таблиц и названий таблиц по левому краю страницы. Нумерация таблиц, рисунков, формул в пределах раздела.

Пояснительная записка к курсовому проекту сшивается в папку-скоросшиватель. Лист формата А1 после защиты курсового проекта складывается в соответствии с приложением Г ГОСТ 2.501–2013 «Единая система конструкторской документации. Правила учета и хранения».

После защиты пояснительная записка и графическая часть курсового проекта складываются в папку для бумаг с завязками, на лицевую часть которой наклеивается копия титульного листа курсового проекта, и сдаются на кафедру.

Электронная версия пояснительной записки в формате «.doc», «.docx» или «.odt», графическая часть в формате «.jpg» или «.png» с разрешением изображения не менее 3000 пикселей по короткой стороне, 3D модели в формате «.grs» собираются в папку и сдаются на кафедру.

## **2 Краткие теоретические сведения**

### **2.1 Производители режущих инструментов и инструментальной оснастки**

Для выполнения курсового проекта используют каталоги производителей режущего инструмента и инструментальной оснастки в любой форме (бумажный каталог, электронный каталог, интерактивный каталог) из числа доступных на сайтах производителей, либо полученных на кафедре.

Для выполнения курсового проекта могут использоваться каталоги таких производителей режущего инструмента, как: Sandvik Coromant, Widia, Vargus, TaeguTec, Mitsubishi, Arno, ZCC, YG-1, Tungaloy, Seco, Iscar, Guhring, Walter, Korloy, Kennametal, Dormer&Pramet, Sumitomo, Микробор-Композит, КЗТС, Скиф-М, АО «Твердосплав», НВФ «Инструмент», ОАО «ВеАл», АО «Киржачский инструментальный завод», Белгородский завод фрез и специнструмента, АНАЙ Росс, Абразивный завод «Ильич», ООО «Алмазный инструмент», ООО «Томский инструментальный завод», ООО «Московский инструментальный завод», АО «Воткинский завод», ООО «Рязанский инструментальный завод» и других.

Для выполнения курсового проекта могут использоваться каталоги таких производителей инструментальной оснастки, как: Sandvik Coromant, Iscar, Walter, EWS, Shunk, Микробор-Композит, ZEGYO, Schlenker, ОКЕ и других.

### **2.2 Группы обрабатываемости по ISO**

Стандарт ISO регламентирует 6 основных групп, каждая из которых имеет уникальные свойства в плане обрабатываемости. Данные свойства предъявляющие различные требования к режущему инструменту.

Существует взаимосвязь между твёрдостью обрабатываемого материала и стойкостью инструмента, а также режимами обработки, геометрией и сплавом. Чем выше твердость заготовки, тем ниже стойкость инструмента и более интенсивный износ режущей кромки.

Группа Р – сталь. Самая распространённая группа обрабатываемых материалов. Сталь – это сплав на основе железа, изготавливаемый методом переплава. Сталь может быть незакаленной, закаленной или отпущенной. Твердость стали до 400 НВ. В нелегированных сталях содержание углерода не превышает 0,8 % (остальной состав – железо без добавления легирующих элементов). В легированных сталях содержание углерода не превышает 1,7 %; кроме железа в сплаве присутствуют легирующие элементы (никель, хром, молибден и т. д.). Из материалов группы Р изготавливается большое разнообразие деталей для целого ряда различных сегментов промышленности. Пример: 15, 17ГС, 20Х17Н2, 18ХГ, 18Г2АФ, 16К, 20ГСЛ.

Материалы группы Р, в основном, дают сливную стружку, относительно простой контроль стружкодробления. Малоуглеродистая сталь склонна к налипанию и требует острых режущих кромок. Удельная сила резания колеблется в пределах от 1500 до 3100 Н/мм<sup>2</sup>. Сила резания в процессе обработки колеблется в пределах ограниченного диапазона.

Группа М – нержавеющая сталь. Содержит не менее 11 % хрома. При этом, содержание углерода низкое (от 0,01 %). Основные легирующие элементы – никель, молибден и титан. Образующийся на поверхности слой оксида хрома повышает стойкость стали к коррозии. Значительная часть материалов группы М предназначена для производства деталей для нефтегазового оборудования, труб, фланцев, а также для медицинской промышленности. Пример: 08X18H10, 03X18H11, 06X18H11, ХН32Т, 09Х17Н7Ю, 10Х18Н9Л.

Материалы группы М – дают ступенчатую стружку, приемлемый контроль над стружкодроблением у ферритной стали, затрудненное стружкообразование у аустенитной и дуплексной сталей. Удельная сила резания колеблется в пределах от 1800 до 2850 Н/мм<sup>2</sup>. Обработка сопровождается высокими силами резания, наростом на режущей кромке, высокой температурой в зоне резания и поверхностным деформационным упрочнением.

Материалы группы К – чугуны. Применяются для производства деталей в автомобильной промышленности и общем машиностроении. Чугун – сплав железа с углеродом, характеризующийся относительно высоким содержанием кремний (от 1 % до 3 %) и высоким содержанием углерода (от 2,14 % до 6,3 %). Пример: СЧ15, СЧ25, КЧ63-2, ЧВГ35, ЧН19ХЗШ.

Стружка группы К чаще всего элементная, контроль над стружкодроблением хороший. Удельная сила резания от 790 до 1350 Н/мм<sup>2</sup>. Однако, высокоскоростная обработка вызывает абразивный износ инструмента.

К группе N – цветные металлы. Относятся мягкие металлы твердостью до 130 НВ. К таким материалам относят алюминиевые сплавы, медь, бронзу, латунь, пластики, композиты. Основную часть группы N составляют детали для авиационной промышленности, а также автомобильные легкосплавные литые колесные диски. Пример: А7, АК6, АК8МЗ, АЛ4В, АМг1, БрА5, БрАМц9-2.

Стружка группы N – сливная, удельная сила резания от 350 до 700 Н/мм<sup>2</sup>. Алюминий склонен к налипанию, поэтому при обработке требуются острые режущие кромки. Сила резания остается в пределах ограниченного диапазона.

Труднообрабатываемые материалы группы S находят широкое применение в аэрокосмической промышленности, в производстве газовых турбин, а также в энергетической отрасли. Пример: 36НХТЮ, ВТ16, ЛК52, ХН60Ю, ХН38ВТ, ВТ23, ХН35ВТЮ.

При обработке сталей группы S возникают большие силы резания (удельная сила резания от 2400 до 3100 Н/мм<sup>2</sup> для жаропрочных сплавов и от 1300 до 1400 Н/мм<sup>2</sup> для титана). Стружка сегментная, контроль над стружкодроблением затруднен.



Материалы высокой твёрдости группы Н используются в целом ряде отраслей промышленности: автомобильной, общем машиностроении, в производстве штампов и пресс-форм. В эту группу входят материалы с твёрдостью свыше 45 HRC. Пример: 38Х2Н2МА, 40Х13, 40Г, 50ХГА.

Материалы группы обрабатываемости Н имеют длинную, раскалённую стружку. Удельная сила резания от 2550 до 4870 Н/мм<sup>2</sup>.

Возникающая при лезвийной обработке данных материалов стружка имеет вид, схематично представленный на рисунке 2.1.

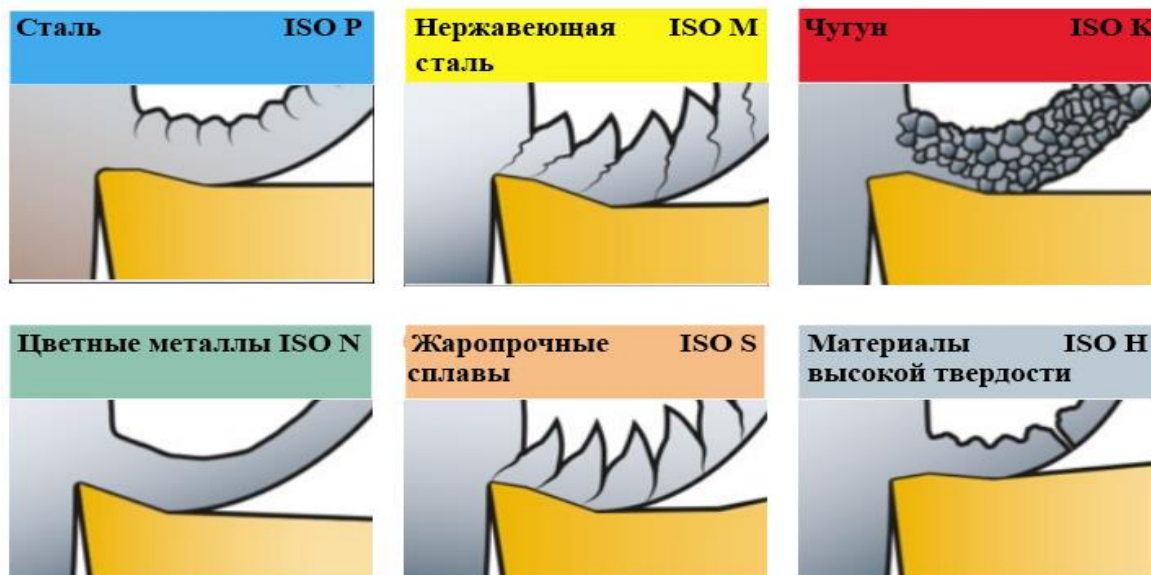


Рисунок 2.1 – Стружка, возникающая при резании различных материалов

Сочетание геометрии и материала конкретного режущего инструмента может быть универсальным (подходить для обработки нескольких групп материалов), либо специализированным (более производительно) (рисунок 2.2).

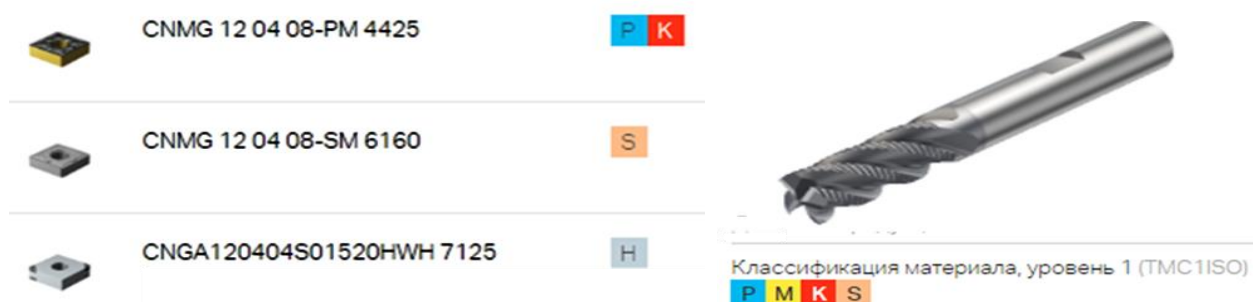


Рисунок 2.2 – Сменные многогранные пластины (слева), предназначенные для обработки 1-2 групп материалов. Концевая фреза (справа) для обработки широкого спектра конструкционных материалов

## 2.3 Материалы режущих инструментов

Характеристики режущих инструментов в значительной степени зависят от качества материала, из которого эти инструменты изготовлены. Материалы,

предназначенные для режущих инструментов, должны по ряду показателей значительно превосходить конструкционные материалы:

- иметь высокую твёрдость;
- обладать теплостойкостью (способностью сохранять твёрдость при высокой температуре и при циклических изменениях температуры);
- быть износостойкими;
- быть высокопрочными;
- быть технологичными (простыми в изготовлении).

При выполнении курсового проекта следует использовать инструмент с режущей частью, выполненной из быстрорежущих сталей, твёрдых сплавов, режущей керамики или сверхтвёрдых материалов.

### 2.3.1 Быстрорежущие стали

Быстрорежущие инструментальные стали (БРС) в настоящее время применяются для изготовления вращающегося инструмента (концевые фрезы, свёрла, зенкеры, развертки и т. д.).

БРС разделяют на стали нормальной, повышенной и высокой теплостойкости. Более высокими характеристиками обладают БРС, полученные спеканием металлических порошков; БРС, легированные азотом.

В таблице 2.1 приведены некоторые марки отечественных быстрорежущих сталей, их некоторые характеристики и область применения режущего инструмента (РИ), выполненного из данного материала.

Таблица 2.1 – Быстрорежущие стали

Марка стали	Твёрдость, HRC	Теплостойкость, °C	Предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ , МПа	Область применения
P9	63-65	620	3350	Инструмент простой формы, не требующий большого объёма шлифования; обработка конструкционных материалов
P12	63-65	625	3000-3200	Все виды РИ при обработке углеродистых и легированных сталей
P18	63-65	625	2600-3000	Все виды РИ при обработке углеродистых и легированных сталей
P6M5	64-66	620	3300-3400	Резьбонарезной РИ и РИ, работающий с ударными нагрузками; обработка углеродистых и легированных сталей
P6M5Ф3	65-66	625	3300-3500	Инструменты для чистовой и получистовой обработки при обработке конструкционных сталей
P6M5Ф3-МП	66-67	630	3500-4400	
P6M5K5	65-67	630	3300-3400	Для черновой и получистовой обработки легированных и нержавеющей сталей

Продолжение таблицы 2.1

Марка стали	Твёрдость, HRC	Теплостойкость, °C	Предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ , МПа	Область применения
P6M5K5-МП	67-68	630	3200-3900	Для черновых и получистовых инструментов для обработки жаростойких и высокопрочных сталей, жаропрочных сплавов типа ХН77ТЮР
P9K5	64-67	630	2300-2700	Для обработки нержавеющей, жаропрочных сталей; сталей повышенной твёрдости
P9K10	64-66	630	2050-2100	Для изготовления получистовых и черновых инструментов при обработке углеродистых и легированных конструкционных сталей на повышенных режимах резания
P12Ф3	64-67	630	2400-2800	Инструменты для чистовой обработки вязкой стали и материалов, обладающих абразивными свойствами
P9M4K8	64-67	630	2300-2700	Для обработки нержавеющей, жаропрочных сталей; сталей повышенной твёрдости
P9M4K8-МП	66-67	635	3200-3700	
P10K5Ф5	66-68	640	2500-2700	Для черновых и получистовых инструментов при обработке высокопрочных коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов.
P12Ф4K5	64-67	640	2600	Для чистовых и получистовых инструментов для обработки большинства марок труднообрабатываемых материалов.
P12Ф3K10M3	66-68	640	2800	Для изготовления режущих пластин; черновая и получистовая обработка высокопрочных, жаропрочных и нержавеющей сталей типа ЭИ698, ЭП742
P12Ф2K5M3	64-66	640	2800-2900	Для обработки высокопрочных коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов
P12M3K5Ф2-МП	66-68	635	2600-3500	Для обработки жаропрочных сталей при протягивании
B3M12K23	66-68	680	2200-2600	Резание труднообрабатываемых материалов и титановых сплавов
B3M12K23-МП	67-68	680	2000-2600	
B11M7K23	67-68	690	2300-2500	
B14M7K25	68-69	700	2050-2300	

### 2.3.2 Твёрдые сплавы

Твёрдые сплавы (ТС) состоят из порошков карбидов, нитридов, карбонитридов тугоплавких металлов в связующих материалах. Стандартные марки твёрдых сплавов выполнены на основе карбидов вольфрама, титана, тантала. В качестве связки используется кобальт.

Твёрдые сплавы ВК содержат карбид вольфрама, ТК – карбиды титана и вольфрама, ТТК – карбиды титана, тантала и вольфрама. Безвольфрамовые твёрдые сплавы основаны на карбиде титана (ТН) или карбонитриде титана (КНТ).

Вольфрамокобальтовые твёрдые сплавы, по сравнению с другими ТС при равном содержании кобальта обладают большей прочностью и ударной вязкостью. ТС группы ВК менее стойки к коррозии и окислению, склонны к схватыванию со стружкой. Сплавы с меньшим содержанием кобальта рекомендованы для чистовой высокоскоростной обработки с малыми подачей и глубиной резания; с большим – для черновой обработки.

ВК рекомендованы для обработки материалов, дающих стружку надлома: чугунов, стеклопластиков, ряда цветных металлов. Для ВК характерна теплостойкость порядка 900 °С.

ТС группы ТК рекомендуется применять для обработки материалов, дающих сливную стружку. По сравнению с ВК сплавы ТК обладают большей стойкостью к окислению, твердостью и жаропрочностью, но меньшей прочностью на изгиб и теплопроводностью.

Увеличение содержания карбида титана увеличивает твердость и износостойкость, но уменьшает прочность. В связи с этим такие сплавы, как Т30К4, Т15К6 применяют для чистовой обработки с малыми нагрузками на инструмент, а сплавы Т5К10, Т5К12 – для работы в тяжелых условиях с ударными нагрузками.

Для ТК характерна теплостойкость порядка 1000 °С.

ТС группы ТТК рекомендуется применять при тяжелых условиях резания с большими сечениями среза, большими силовыми и температурными нагрузками; при прерывистом резании, фрезеровании; обработке цветных металлов; для оснащения разверток и чистовых зенкеров. Карбид тантала повышает твердость, термостойкость, предел усталости при циклическом нагружении, стойкость к окислению на воздухе.

Повышение содержания карбида тантала увеличивает стойкость инструмента, препятствует лункообразованию, увеличивает стойкость к термоциклическим и усталостным нагрузкам.

Для ТТК характерна теплостойкость порядка 1000 °С.

В таблице 2.2 приведены некоторые марки отечественных твёрдых сплавов, их некоторые характеристики и область применения режущего инструмента (РИ), выполненного из данного материала.

Таблица 2.2 – Твёрдые сплавы

Марка ТС	Твёр- дость, HRC	Предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ , МПа	Область применения
ВК3	89,5	1176	Чистовое точение, окончательное нарезание резьбы, развертывание отверстий и других аналогичных видов обработки серого чугуна, цветных металлов и их сплавов и НММ.
ВК3-М	91	1176	Чистовая обработка (точение, растачивание, нарезание резьбы, развертывание) чугунов, цементированных и закаленных сталей, высокоабразивных неметаллических материалов .
ВК6	88,5	1519	Для чернового точения, предварительного нарезания резьбы резцами, получистового фрезерования сплошных поверхностей, рассверливания и растачивания, зенкерования серого чугуна, цветных металлов и их сплавов.
ВК6-М	90	1421	Для получистовой обработки паропрочных сталей и сплавов, нержавеющей сталей аустенитного класса, специальных твёрдых чугунов, закаленного чугуна, твердой бронзы, сплавов легких металлов, абразивных неметаллических материалов; для обработки закаленных сталей.
ВК6-ОМ	90,5	1274	Для чистовой и получистовой обработки твёрдых, легированных и отбеленных чугунов, закаленных сталей и некоторых марок нержавеющей высокопрочных и жаропрочных сталей и сплавов, особенно сплавов на основе титана, вольфрама и молибдена.
ВК8	88	1666	Для чернового точения при неравномерном сечении среза и прерывистом резании, строгании, чернового фрезерования, сверления, чернового рассверливания, чернового зенкерования серого чугуна, цветных металлов и их сплавов и неметаллических материалов; обработки нержавеющей, высокопрочных и жаропрочных труднообрабатываемых сталей и сплавов, в том числе сплавов титана.
ВК10-ХОМ	89	1470	Для сверления, зенкерования, развертывания, фрезерования и зубофрезерования стали, чугуна, некоторых труднообрабатываемых материалов и неметаллов мелкогабаритным инструментом.
Т14К8	89,5	1274	Чернового точения, получистового и чистового точения при прерывистом резании; чернового фрезерования сплошных поверхностей; рассверливания литых и кованых отверстий, чернового зенкерования и других видов обработки углеродистых и легированных сталей.

Продолжение таблицы 2.2

Марка ТС	Твёр- дость, HRC	Предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ , МПа	Область применения
T15K6	90	1176	Получернового точения при непрерывном резании, чистового точения при прерывистом резании, нарезания резьбы резцами и вращающимися головками, получистового и чистового фрезерования сплошных поверхностей, рассверливания и растачивания предварительно обработанных отверстий, чистового зенкерования, развертывания и других видов обработки углеродистых и легированных сталей.
T30K4	92	980	Для чистового точения с малым сечением среза; нарезания резьбы и развертывания отверстий незакаленных и закаленных углеродистых сталей.
T5K10	88,5	1421	Чернового точения при неравномерном сечении среза и прерывистом резании, фасонного точения, отрезки токарными резцами; чистового строгания; чернового фрезерования прерывистых поверхностей и других видов обработки углеродистых и легированных сталей, преимущественно в виде поковок, штамповок и отливок по корке и окалине.
TT7K12	87	1666	Тяжелого чернового точения стальных поковок, штамповок и отливок по корке с раковинами при наличии песка, шлака и различных неметаллических включений, при неравномерном сечении среза и наличии ударов. Сверления и строгания углеродистых и легированных сталей.
TT8K6	90,5	1323	Чистового и получистового точения, растачивания, фрезерования и сверления серого и ковкого чугуна, а также отбеленного чугуна. Непрерывного точения с небольшими сечениями среза стального литья, высокопрочных, нержавеющей сталей, в том числе и закаленных. Обработки сплавов цветных металлов и некоторых марок титановых сплавов при резании с малыми и средними сечениями среза.
TT20K9	91	1470	Фрезерования стали, особенно глубоких пазов, и других видов обработки, предъявляющих повышенные требования к сопротивлению ТС тепловым и механическим циклическим нагрузкам.
T8K7	90,5	1519	При фрезеровании труднообрабатываемых чугунов.
KHT16	89	1200	P01-P10, K01-K10 (приложение Д).
TH20	90	1050	P01-P10, K01-K10 (приложение Д).

### 2.3.3 Режущая керамика и СТМ

Режущая керамика изготавливается на основе оксида алюминия  $Al_2O_3$ , его смеси с карбидами, нитридами и другими соединениям, нитриде кремния  $Si_3N_4$  легированном оксидами иттрия, циркония и др. Пластины из режущей керамики обладают высокой твёрдостью и красностойкостью, но низкими прочностными характеристиками; применяются, как правило, для чистового точения в стабильных условиях резания. Для режущей керамики характерна теплостойкость от 1100 °С до 1200 °С. Скорости резания до 1000 м/мин и выше.

В таблице 2.3 приведены некоторые марки отечественной режущей керамики, а в таблице 2.4 – рекомендации по применению перечисленных материалов.

Таблица 2.3 – Режущая керамика

Марка	Химический состав	Твёрдость, HRC	Предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ , МПа
ЦМ-332	$Al_2O_3 \geq 99 \%$ $MgO \leq 1 \%$	91	300-350
ВО-13	$Al_2O_3 \geq 99 \%$	92	450-500
ВШ-75	$Al_2O_3 \geq 99 \%$	91-92	500
ВОК-60	$Al_2O_3 \geq 60 \%$ TiC и др. $\leq 40 \%$	94	600
В-3		93	550-650
ВОК-63		94	650-700
ОНТ-20 («Кортинит»)	$Al_2O_3 + TiN$	90-92	640
Силинит-Р	$Si_3N_4, Y_2O_3, TiC$	92-94	500-700

Таблица 2.4 – Рекомендации по применению режущей керамики

Обрабатываемый материал (ОМ)	Твёрдость ОМ	Рекомендуемая керамика
Чугун серый	HB 143-289	ВО-13, ВШ-75, ЦМ-332
Чугун ковкий	HB 163-269	ВШ-75, ВО-13
Чугун отбеленный	HB 400-650	ВОК-60, ОНТ-20, В-3
Сталь конструкционная углеродистая	HB 160-229	ВО-13, ВШ-75, ЦМ-332
Сталь конструкционная легированная	HB 179-229	ВО-13, ВШ-75, ЦМ-332
Сталь улучшенная	HB 229-380	ВШ-75, ВО-13, ВОК-60, Силинит-Р
Сталь цементируемая закалённая	HRC 36-48	ВОК-60, ОНТ-20, В-3
	HRC 48-64	ВОК-60, В-3, ОНТ-20
Медные сплавы	HB 60-120	В-3, ОНТ-20
Никелевые сплавы		Силинит-Р, ОНТ-20

Под синтетическими сверхтвёрдыми материалами подразумеваются синтетический алмаз и материалы на основе нитрида бора. РИ со вставками из синтетического алмаза используют при чистовой и тонкой обработке цветных металлов и сплавов, неметаллов. Обработка углеродсодержащих сплавов невозможна ввиду сродства материалов. Режущий инструмент на основе кубического нитрида бора (КНБ, CBN) используют при обработке закаленных

сталей, чугунов любой твёрдости, твердых сплавов ВК. Для КНБ характерна теплостойкость порядка 1100 °С. Микротвёрдость композитов понижается с увеличением номера от 60 до 80 ГПа; прочность, наоборот, возрастает.

#### 2.3.4 Покрyтия режyщих инструментов

Износостойкое покрытие – слой материала на поверхности инструментальной основы, который отличается по своим кристаллохимическим, физико-механическим и теплофизическим свойствам от соответствующих свойств основы.

Назначение износостойкого покрытия – повышение периода стойкости РИ путём увеличения микротвёрдости, коррозионной стойкости и термодинамической устойчивости поверхностного слоя, а также снижения фрикционного взаимодействия РИ и обрабатываемого материала.

Покрyтия из TiN обладают микротвёрдостью от 20 ГПа до 40 ГПа. TiN существенно снижает адгезию инструментального и обрабатываемого материала. Температура окисления 550 °С. Покрытие применяется на РИ различных типов при обработке конструкционных сталей, чугунов, бронз. Неэффективны при обработке хромоникелевых, титановых и алюминиевых сплавов. Покрытие из нитрида титана имеет характерный золотой цвет (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Спиральные сверла с TiN покрытием функциональной части

Покрyтия из TiCN могут иметь микротвёрдость до 42 ГПа, однако, в связи с повышенной хрупкостью покрытий такой твердости, распространены покрытия TiCN микротвёрдостью от 27 ГПа до 30 ГПа. Адгезия TiCN к материалу режущего инструмента ниже, чем у TiN, однако фрикционные свойства – выше. При нагреве от 365 °С до 400 °С TiCN окисляется, что определяет сферу его применения при резании с низкими и средними



скоростями. Цвет покрытия из карбонитрида титана – серо-голубой (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Концевая фреза с TiCN покрытием функциональной части

Покрытия из  $(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}$  при нагреве на воздухе покрываются плотным слоем оксида алюминия, который препятствует окислению и адгезионному взаимодействию поверхности РИ с обрабатываемым материалом.  $(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}$  создаёт тепловой барьер, практически изолирующий материал РИ. Микротвёрдость  $(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}$  находится в пределах от 10 ГПа до 42 ГПа. Введение в состав покрытия нитридов хрома и иттрия повышает температуру окисления:  $(\text{Ti}_{0,46} \text{Al}_{0,54})\text{N} = 870\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $(\text{Ti}_{0,44} \text{Al}_{0,53} \text{Cr}_{0,03})\text{N} = 920\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $(\text{Ti}_{0,43} \text{Al}_{0,52} \text{Cr}_{0,03} \text{Y}_{0,02})\text{N} = 950\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Покрытия из комплексного нитрида титана, алюминия имеют темно-фиолетовый цвет (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Концевая фреза с  $(\text{Ti}, \text{Al})\text{N}$  покрытием функциональной части

Покрытие  $(\text{Ti}, \text{Cr})\text{N}$  (нитрид титана, хрома) применяют при обработке нержавеющей и жаропрочных сплавов. В целом, более эффективное по сравнению с  $\text{TiN}$ . Наличие хрома повышает пластичность покрытия, что необходимо при циклических нагрузках и большом сечении срезаемого слоя.

Покрытие  $(\text{Ti}, \text{Mo})\text{SN}$  обладает низким коэффициентом трения и рекомендуется для обработки материалов, склонных к налипанию. Наличие дисульфида молибдена позволяет отказаться от СОТС, т. к.  $\text{MoS}_2$  имеет структуру скользящих пластинок.

В целях повышения эксплуатационных свойств покрытия могут выполняться многослойными, например  $\text{TiN-Al}_2\text{O}_3\text{-TiCN}$ . Подробная информация о составе, структуре и свойствах конкретного покрытия, как правило, присутствует в каталоге режущего инструмента. Там же находится информация о рекомендуемой области применения покрытий (рисунок 2.6).

## ● ТОКАРНАЯ ОБРАБОТКА

Обрабатываемый материал	Режим резания	Рекомендуемое покрытие	Рекомендуемая скорость резания (м/мин)	ISO	Область применения				
P	Сталь	Непрерывное резание	UE6005	280 (200 – 350)	P01				
			UE6010	250 (200 – 300)	P10				
			UE6020	180 (100 – 250)	P20				
		Прерывистое резание	UE6035	180 (100 – 250)	P30				
				150 (100 – 200)	P40				
M	Нержавеющая сталь	Непрерывное резание	US7020	170 (120 – 220)	M10				
				M20					
		Непрерывное и Прерывистое резание		US735	100 (80 – 120)		M30		
					M40				
K	Чугун Ковкий чугун	Непрерывное резание	UC5105	250 (150 – 300)	K01				
				K10					
				Прерывистое резание	UC5115		250 (150 – 300)	K20	
							K30		
S	Жаропрочные сплавы	Непрерывное и Прерывистое резание	US905	75 (80 – 100)	S01				

Рисунок 2.6 – Фрагмент страницы каталога Mitsubishi Carbide с рекомендациями по применению различных CVD покрытий токарных пластин. Для различных условий обработки производителем разработан ряд покрытий

Часто маркировка покрытия не отражает его структуру. Для определения состава покрытия используют соответствующие пояснения каталога (рисунок 2.7).

Покрытие	Основа		Слой покрытия	
	Твердость (HRA)	Предел прочности (GPa)	Структура	Толщина
UC5105	92.2	2.0	TiCN-Al2O3	Толстый
UC5005	91.8	2.2	TiCN-Al2O3-TiN	Толстый
UC5115	91.0	2.2	TiCN-Al2O3	Толстый
UC5015	91.0	2.2	TiCN-Al2O3-Ti структура	Толстый
UE6005	91.0	1.8	TiCN-Al2O3-TiN	Толстый
UE6010	90.5	2.0	TiCN-Al2O3-Ti структура	Толстый
UC6010	90.5	2.0	TiCN-Al2O3-TiN	Толстый
UE6020	90.2	2.2	TiCN-Al2O3-Ti структура	Толстый
UE6035	89.5	2.3	TiCN-Al2O3-TiN	Толстый
UH6400	89.5	2.3	TiCN-Al2O3-Ti структура	Толстый
US7020	90.5	2.0	TiCN-Al2O3-TiN	Тонкий
US735	89.0	2.6	Ti структура	Тонкий

Рисунок 2.7 – Фрагмент страницы каталога Mitsubishi Carbide с описанием основных характеристик материалов основы (твёрдых сплавов) и структур наносимых покрытий

### 3 Номенклатура режущего инструмента

#### 3.1 Резцы

Для обработки наружных и внутренних поверхностей тел вращения используются резцы со сменными многогранными пластинами (СМП) из твердого сплава с механическим креплением пластин. Наибольшее распространение получили следующие конструкции резцов.

Для точения наружных поверхностей в «упор» и подрезание торца получил инструмент с главным углом в плане  $\varphi = 95^\circ$  и пластиной ромбовидной формы с углом при вершине  $80^\circ$  (рисунок 3.1).

Помимо главного угла в плане  $\varphi = 95^\circ$  и ромбовидной пластины, используют резцы с углом  $\varphi = 91^\circ$  и треугольной пластиной (рисунок 3.2).

Для черновой и тяжёлой обработки наружных поверхностей применяют резцы с главным углом в плане  $\varphi = 45^\circ$ . Такие резцы работают только на проход, что уменьшает технологические возможности (рисунок 3.3).

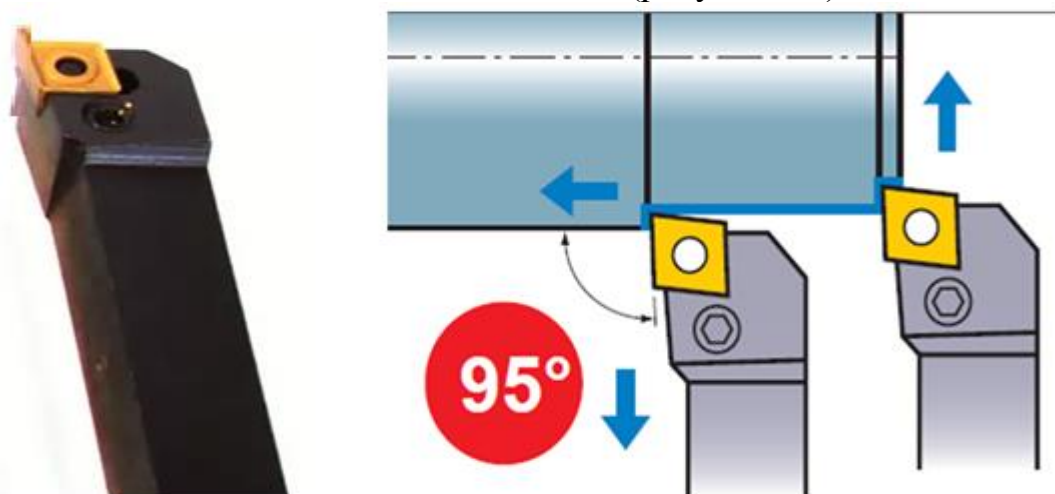


Рисунок 3.1 – Резец с углом  $\varphi = 95^\circ$

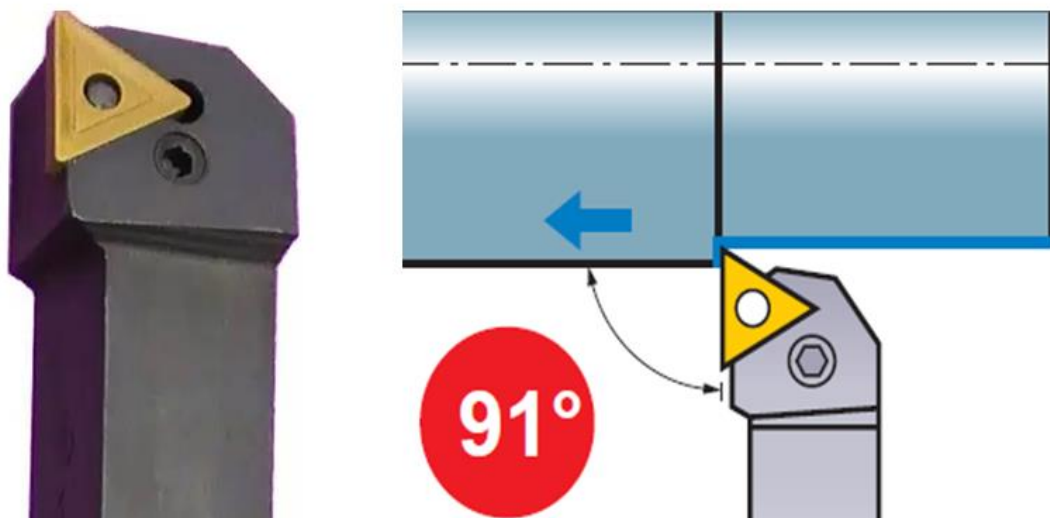


Рисунок 3.2 – Резец с углом  $\varphi = 91^\circ$

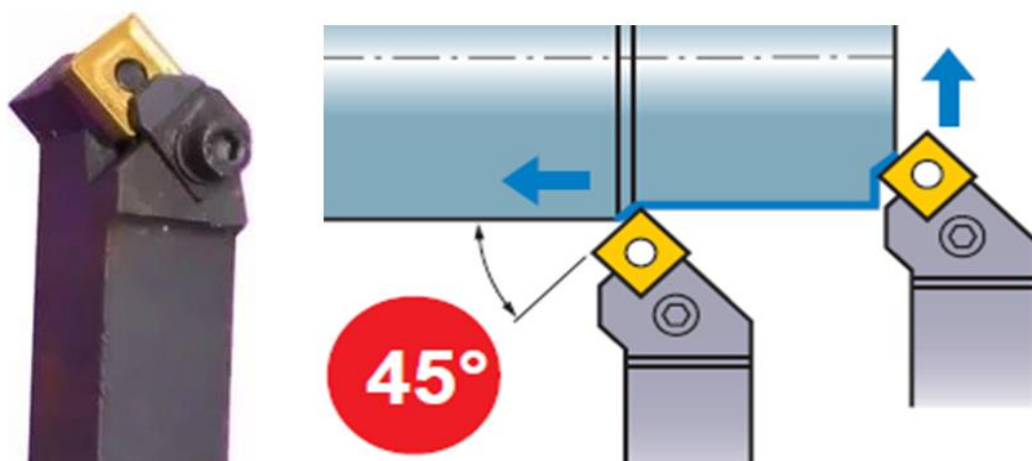


Рисунок 3.3 – Резец с углом  $\varphi = 45^\circ$

Для контурной обработки и чистового наружного точения применяют «копировальные» резцы с вспомогательным задним углом в плане до  $50^\circ$  (рисунок 3.4).

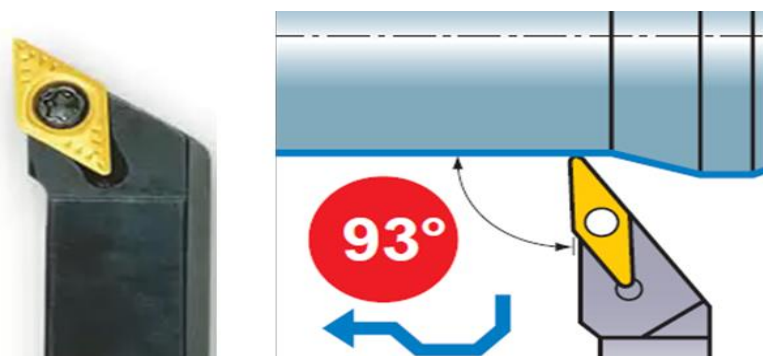


Рисунок 3.4 – Резец для контурной обработки

Для обработки внутренних поверхностей наибольшее распространение получили резцы, представленные на рисунке 3.5. Для обработки прямых и кольцевых канавок, а так же отрезки заготовок используют конструкции резцов, представленные на рисунке 3.6.

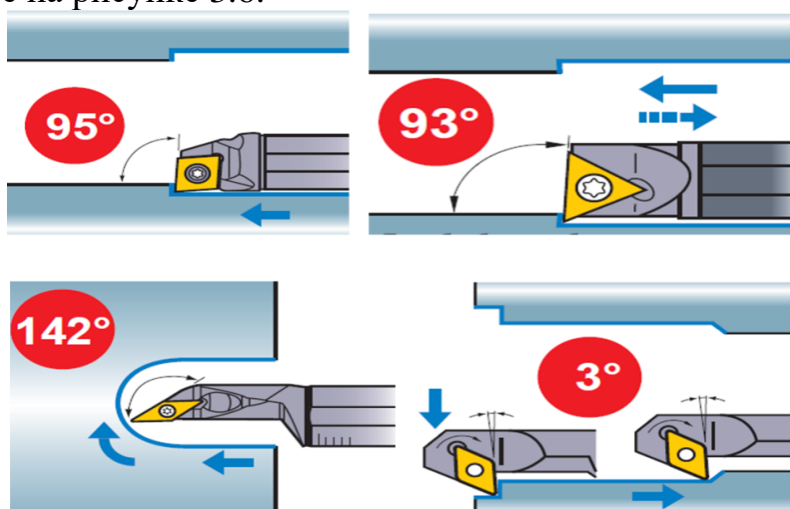


Рисунок 3.5 – Резцы для внутренней обработки

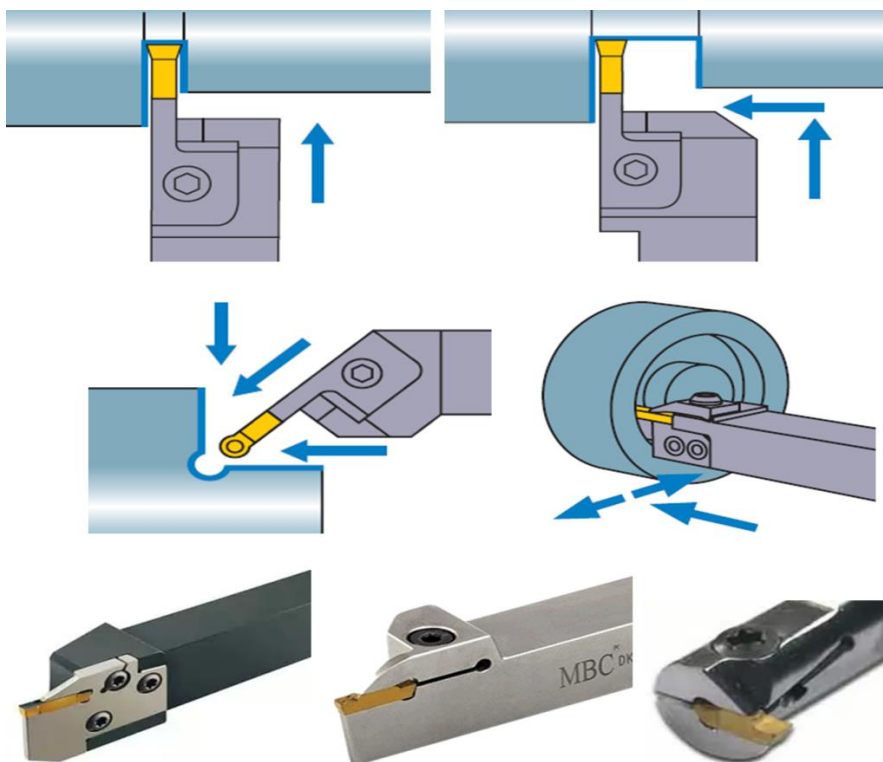


Рисунок 3.6 – Резцы отрезные и канавочные

Нарезание резьбы осуществляют резцами с верхним и торцовым креплением пластины (рисунок 3.7).

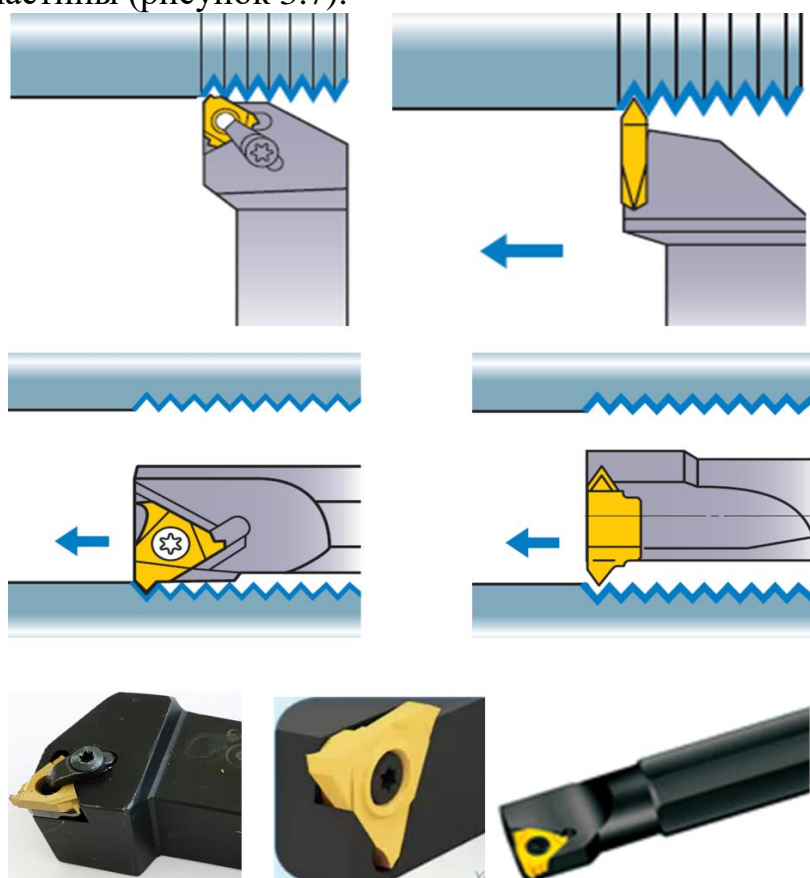


Рисунок 3.7 – Резцы для нарезания резьб



Выполнение пазов возможно при помощи долбежных резцов (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Долбежный резец

### 3.2 Фрезы

Для обработки плоскостей, уступов, карманов, лысок и других поверхностей используют фрезы различной конструкции.

Торцовые фрезы (рисунок 3.9) используются для обработки плоскостей ( $\varphi \neq 90^\circ$ ) или плоскостей и уступов ( $\varphi = 90^\circ$ ).

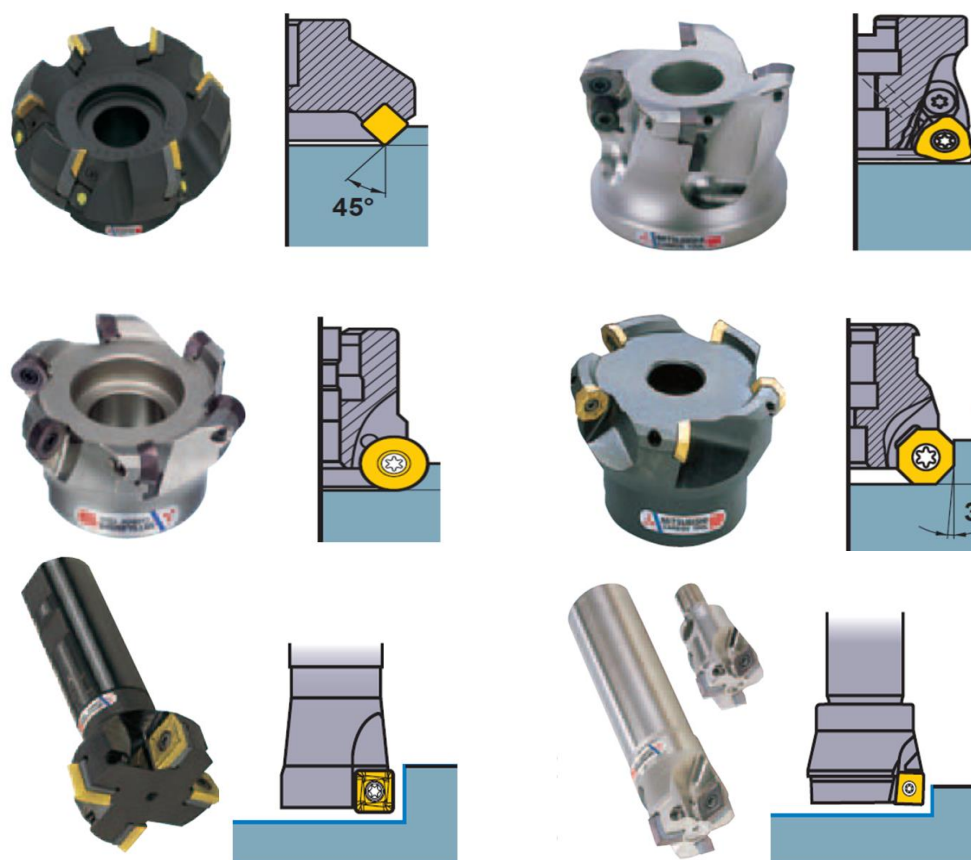


Рисунок 3.9 – Торцовые фрезы

Концевые фрезы (рисунок 3.10) предназначены для обработки плоскостей, пазов, уступов, карманов, желобов, фасок наклонных поверхностей, сложных пространственных фигур, фрезерования резьб и др. Фрезы с СМП следует применять для черновой обработки, а цельные для чистовой, особенно при длинной режущей кромке.

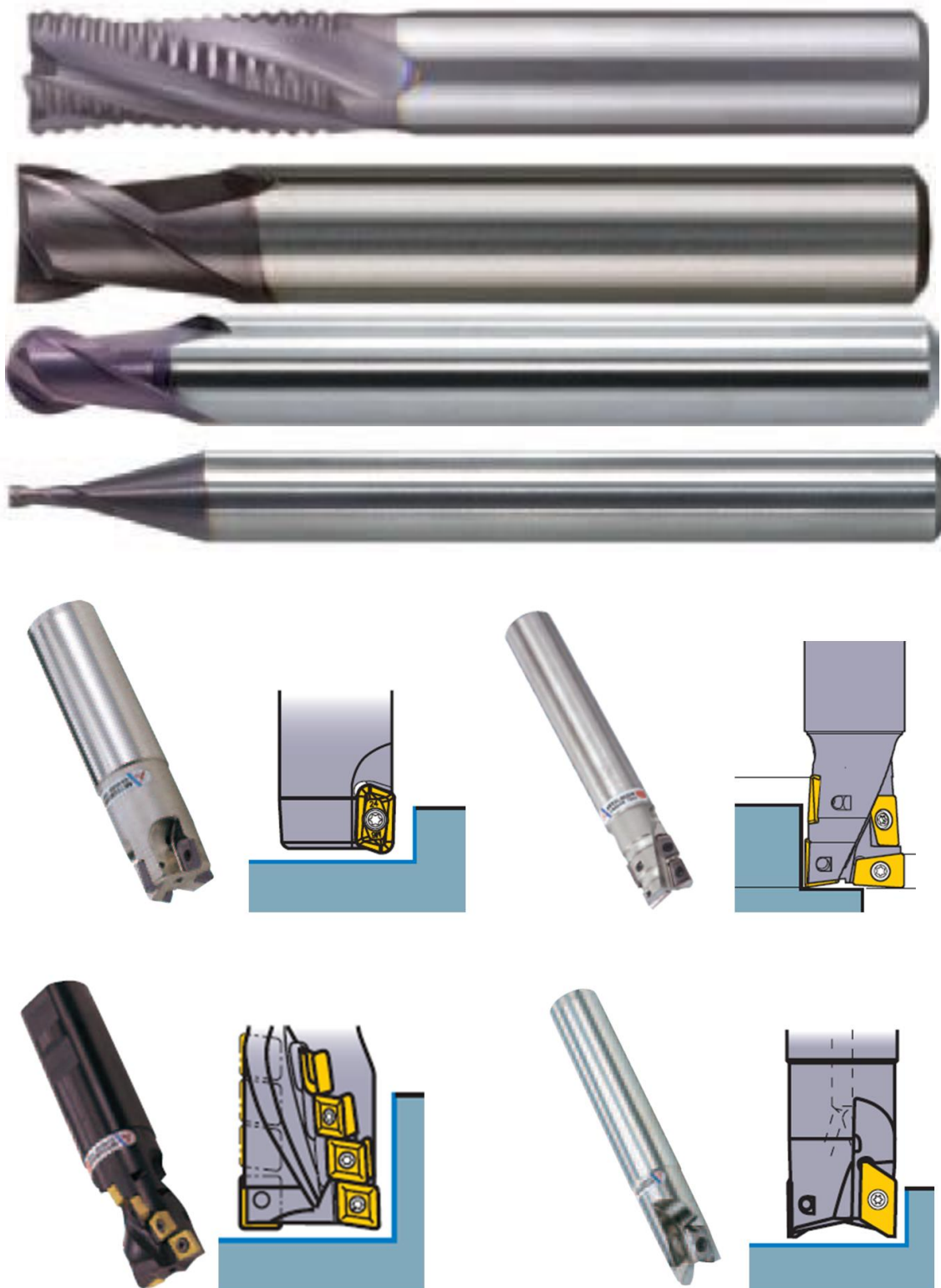


Рисунок 3.10 – Концевые фрезы

Дисковые фрезы (рисунок 3.11) предназначены для обработки пазов и уступов, угловых поверхностей. Уступы можно обработать только дисковыми трехсторонними фрезами. Конструкции фрез, предназначенных для нарезания резьб представлены на рисунке 3.12.



Рисунок 3.11 – Дисковые фрезы

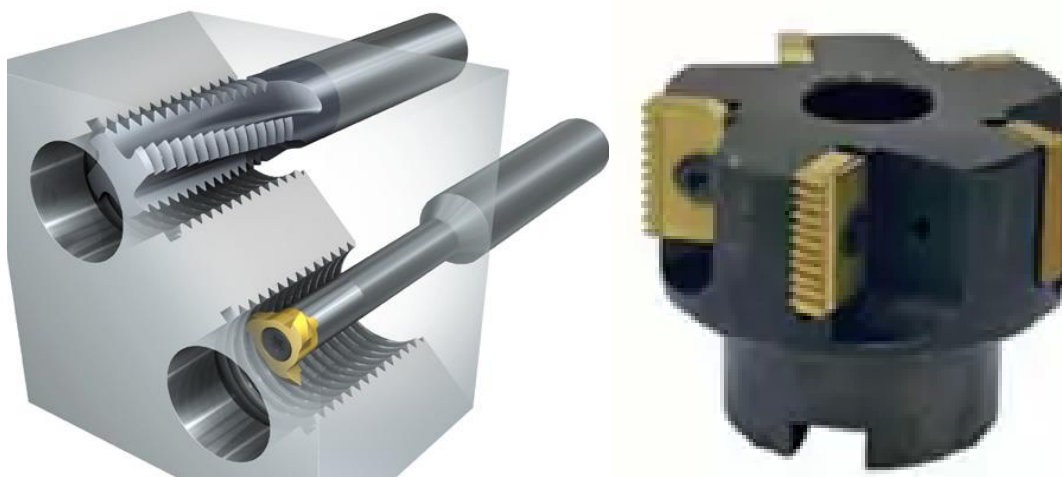


Рисунок 3.12 – Фрезы для нарезания резьб

Для обработки зубчатых колес и шлицевых валов используют дисковые и пальцевые модульные фрезы, червячные фрезы (рисунок 3.13).

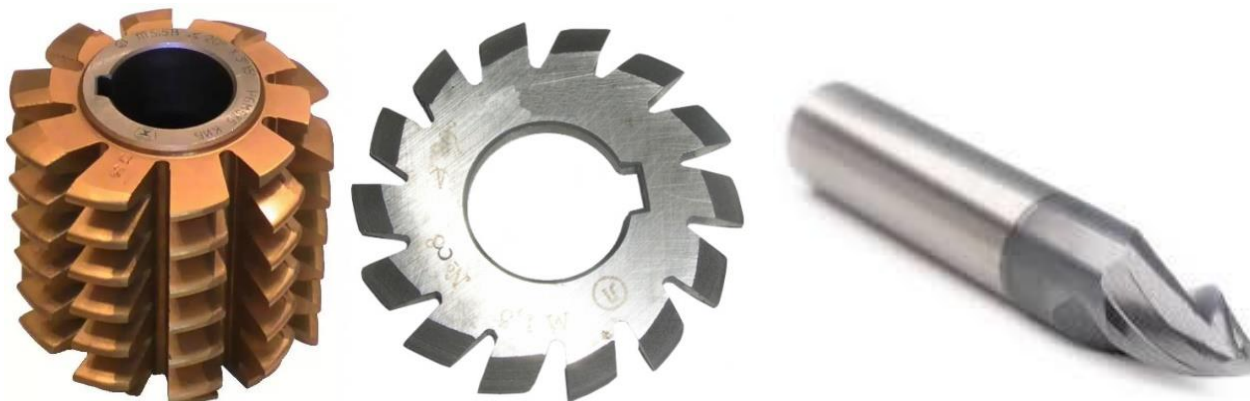


Рисунок 3.13 – Фрезы для зубообработки: червячная (слева), дисковая модульная (в центре) и пальцевая модульная (справа)



### 3.3 Инструмент для обработки отверстий

Для чернового сверления и рассверливания отверстий используют различные конструкции свёрл. Для сверления центровых отверстий применяют центровочные свёрла, показанные на рисунке 3.14.



Рисунок 3.14 – Центровочные свёрла

Для сверления отверстий диаметром от 0,1 и до 50 мм применяют спиральные свёрла (рисунок 3.15). Для сверления отверстий больших диаметров могут применяться кольцевые (корончатые) свёрла (рисунок 3.16).



Рисунок 3.15 – Спиральные свёрла



Рисунок 3.16 – Кольцевые свёрла

Большой универсальностью обладают свёрла с СМП (рисунок 3.17), позволяющие реализовать не только процесс сверления, но и процессы точения и растачивания. Свёрла с СМП являются первым выбором при сверлении пересекающихся отверстий или отверстий, ось которых не перпендикулярна плоскости сверления.



Рисунок 3.17 – Сверло с СМП

Для сверления глубоких отверстий применяют ружейные свёрла (рисунок 3.18).

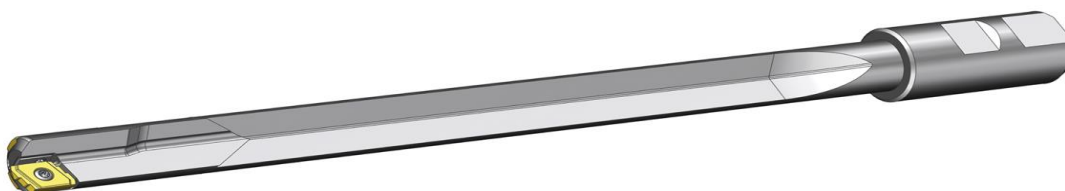


Рисунок 3.18 – Ружейное сверло

Для получистовой обработки отверстий применяют зенкеры (рисунок 3.19), для получения конических углублений – зенковки, цилиндрических – цековки (рисунок 3.20).



Рисунок 3.19 – Зенкер



Рисунок 3.20 – Зенковка (слева) и цековка (справа)

Для чистовой обработки отверстий применяют развертки (рисунок 3.21).



Рисунок 3.21 – Развертка

Для повышения производительности обработки отверстий используют комбинированный инструмент (рисунок 3.22).

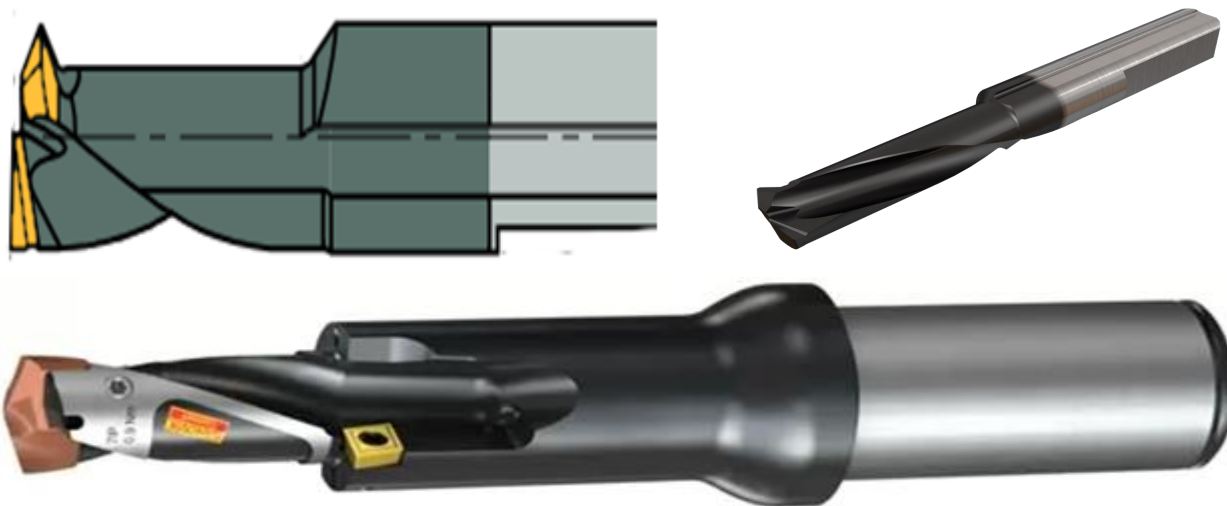


Рисунок 3.22 – Комбинированный режущий инструмент: сверло-резец-резьбонарезной резец (сверху), сверло-зенкер-зенковка (снизу)

Для высокоточной обработки отверстий большого диаметра на фрезерных станках могут использоваться расточные головки и борштанги (рисунок 3.23).

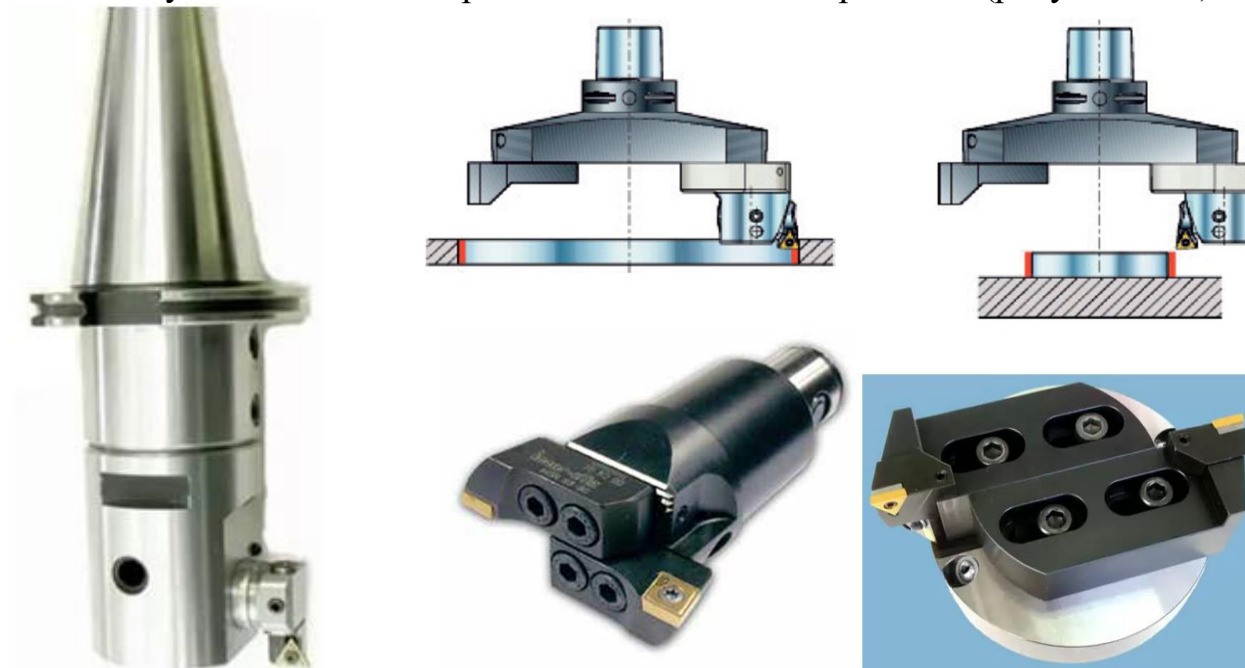


Рисунок 3.23 – Расточная борштанга (слева) и расточные головки (справа)

Для выполнения резьб в отверстиях могут использоваться резбонарезные и резбонакатные метчики (рисунок 3.24).



Рисунок 3.24 – Метчики

### 3.4 Абразивный инструмент

Шлифовальные круги (рисунок 3.25) характеризуются геометрической формой (типом), видом абразивного материала, его зернистостью, типом связки, твердостью и пр. И при выборе шлифовального круга такие характеристики как степень твёрдости или структура могут оказаться более значимыми, чем вид абразива.



Рисунок 3.25 – Шлифовальный круг

Полная маркировка шлифовальных кругов содержит:

- тип круга;
- его размеры;
- вид абразивного материала;
- номер зернистости;
- степень твёрдости;



- структуру (соотношение между абразивом, связкой и порами в теле инструмента);
- вид связки;
- максимальную скорость;
- класс точности;
- класс неуравновешенности.

Типы и размеры шлифовальных кругов описаны в ГОСТ Р 52781–2007 «Круги шлифовальные и заточные. Технические условия» и ГОСТ 24747–90 «Инструмент алмазный и эльборовый. Обозначения форм и размеров».

Тип и размеры круга выбираются, исходя из вида и конфигурации шлифуемых поверхностей, а также характеристики используемого оборудования или инструмента.

Выбор диаметра круга обычно зависит от числа оборотов шпинделя на выбранном станке и от возможности обеспечить окружную скорость оптимальной величины. Удельный износ будет наименьшим при наибольшем размере круга по диаметру. На рабочей поверхности кругов с меньшими размерами расположено меньшее количество зёрен, каждому зерну приходится снимать большее количество материала, и поэтому они быстрее изнашиваются. При работе кругами небольших диаметров часто наблюдается неравномерный износ.

При выборе алмазного круга желательно обратить внимание на ширину алмазоносного слоя. При работе «на проход» она должна быть относительно большой. При шлифовке методом «врезания» ширина алмазного напыления должна быть соизмерима с шириной обрабатываемой поверхности. В противном случае на поверхности круга могут появиться уступы.

Наиболее часто используемыми абразивными материалами для шлифовальных кругов являются: электрокорунд, карбид кремния, эльбор, алмаз.

Электрокорунд выпускается следующих марок: белый – 22А, 23А, 24А, 25А (чем больше число, тем выше качество); нормальный – 12А, 13А, 14А, 15А, 16А; хромистый – 32А, 33А, 34А; титанистый – 37А; циркониевый – 38А и другие.

Карбид кремния. Выпускается две разновидности карбида кремния: черный – 52С, 53С, 54С, 55С и зелёный – 62С, 63С, 64С, отличающиеся друг от друга некоторыми механическими свойствами и цветом. Карбид зелёный по сравнению с карбидом чёрным более хрупок.

Алмаз широко используется для изготовления алмазных шлифовальных кругов, применяемых для доводки и заточки твёрдосплавного инструмента, обработки деталей из твёрдых сплавов, оптического стекла, керамики и пр. Он используется также для правки шлифовальных кругов из других абразивных материалов. При нагревании на воздухе до 800 °С алмаз начинает сгорать.

Эльбор (КНБ, CBN, боразон, кубонит) представляет собой кубическую модификацию нитрида бора. Имея такую же твёрдость, как алмаз, он значительно превосходит последний в термостойкости.

Выбор того или иного абразивного материала в значительной степени определяется характеристикой обрабатываемого материала. Рекомендации по выбору абразива приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Рекомендации по выбору абразивного материала

Абразив	Применение
Электрокорунд нормальный	<p>Обладает высокой теплостойкостью, хорошей сцепляемостью со связкой, механической прочностью зерен и значительной вязкостью, необходимой для выполнения операции с переменными нагрузками.</p> <p>Обработка материалов с высоким сопротивлением разрыву (стали, ковкого чугуна, железа, латуни, бронзы).</p>
Электрокорунд белый	<p>По физическому и химическому составу более однороден, имеет более высокую твёрдость и острые кромки, обладает лучшей самозатачиваемостью и обеспечивает меньшую шероховатость обрабатываемой поверхности по сравнению с электрокорундом нормальным.</p> <p>Обработка тех же материалов, что и электрокорунд нормальный. Обеспечивает меньшее теплообразование, более высокую чистоту поверхности и меньший износ. Шлифование быстрорежущих и легированных инструментальных сталей. Обработка тонкостенных деталей и инструментов, когда отвод теплоты образующейся при шлифовании, затруднен (штампы, зубья шестерен, резьбовой инструмент, тонкие ножи и лезвия, стальные резцы, свёрла, деревообрабатывающие ножи и т. п.); деталей (плоское, внутреннее и профильное шлифование) с большой площадью контакта между кругом и обрабатываемой поверхностью, сопровождающейся обильным теплообразованием; при отделочном шлифовании, хонинговании и суперфинишировании.</p>
Карбид кремния	<p>Отличается от электрокорунда повышенными твердостью, абразивной способностью и хрупкостью (зерна имеют вид тонких пластинок, вследствие чего увеличивается их хрупкость в процессе работы; кроме того, они хуже удерживаются связкой в инструменте). Карбид кремния зеленый отличается от карбида кремния черного повышенными твердостью, абразивной способностью и хрупкостью.</p> <p>Обработка материалов с низким сопротивлением разрыву, высокой твёрдостью и хрупкостью (твёрдых сплавов, чугуна, гранита, фарфора, кремния, стекла, керамики), а также очень вязких материалов (жаропрочных сталей и сплавов, меди, алюминия, резины).</p>

Продолжение таблицы 3.1

Абразив	Применение
Эльбор	Имеет наивысшие после алмаза твёрдость и абразивную способность; обладает высокой теплостойкостью и повышенной хрупкостью; инертен к железу. Шлифование и доводка труднообрабатываемых сталей и сплавов; чистовое шлифование, заточка и доводка инструментов из быстрорежущих сталей; чистовое и окончательное шлифование высокоточных заготовок из жаропрочных, коррозионностойких и высоколегированных конструкционных сталей; чистовое и окончательное шлифование направляющих станков, ходовых винтов, обработка которых затруднена обычными абразивными инструментами из-за больших тепловых деформаций.
Алмаз	Обладает высокой износостойкостью и пониженной теплостойкостью; химически активен к железу; имеет повышенную хрупкость и пониженную прочность, что способствует самозатачиванию; синтетический алмаз каждой последующей марки (от AC2 до AC50) отличается от предыдущего более высокой прочностью и меньшей хрупкостью. Шлифование и доводка хрупких и высокотвёрдых материалов и сплавов (твёрдых сплавов, чугунов, керамики, стекла, кремния); чистовое шлифование, заточка и доводка твёрдосплавных режущих инструментов.

Зернистость абразива – характеристика шлифовальных кругов, определяющая чистоту получаемой поверхности. Зерно представляет собой либо сrostки кристаллов, либо отдельный кристалл, либо его осколки. Как и все твердые тела, оно характеризуется тремя размерами (длиной, шириной и толщиной), однако для простоты оперируют одним – шириной. От величины зерна зависит множество параметров - количество снимаемого за один проход металла, чистота обработки, производительность шлифования, изнашиваемость круга и пр. Зернистость абразива выбирается в соответствии с ГОСТ Р 52381–2005 «Материалы абразивные. Зернистость и зерновой состав шлифовальных порошков. Контроль зернового состава».

Выбор зернистости круга должен обуславливаться целым рядом факторов – видом обрабатываемого материала, требуемой шероховатостью поверхности, величиной снимаемого припуска и пр.

Чем меньше размер зерна, тем чище получается обрабатываемая поверхность. Однако это не означает, что во всех случаях предпочтение следует отдавать меньшей зернистости. Нужно выбирать величину зерна, оптимальную для конкретной обработки. Мелкое зерно даёт более высокую чистоту поверхности, но одновременно может приводить к прижогу обрабатываемого материала, засаливанию круга. При использовании мелкого зерна снижается производительность шлифования. В общем случае целесообразно выбирать

наибольшую зернистость при условии обеспечения требуемой чистоты обрабатываемой поверхности.

При необходимости уменьшить шероховатость поверхности зернистость нужно снижать. Большие припуски и повышение производительности требуют увеличения зернистости.

Твердость шлифовального круга нельзя путать с твёрдостью абразивного материала. Это разные понятия. Твёрдость шлифовального круга характеризует способность связки удерживать абразивные зерна от их вырывания под воздействием обрабатываемого материала. Она зависит от многих факторов – качества связки, вида и формы абразива, технологии изготовления круга.

Твердость круга тесно связана с самозатачиваемостью – способностью абразивного круга восстанавливать свою режущую способность за счет разрушения или удаления затупившихся зерен. Круги в процессе работы интенсивно самозатачиваются за счёт раскалывания режущих зерен и частичного выкрашивания их из связки. Это обеспечивает вступление в работу новых зёрен, предотвращая тем самым появление прижогов и трещин в обрабатываемом материале. Чем меньше твердость круга, тем выше самозатачиваемость. По твердости круги подразделяют на 8 групп в соответствии с ГОСТ Р 52587–2006 «Инструмент абразивный. Обозначения и методы измерения твердости».

Выбор твёрдости шлифовального круга зависит от вида шлифования, точности и формы шлифуемых деталей, физико-механических свойств обрабатываемого материала, типа инструмента и оборудования. На практике в большинстве случаев используют круги средней твёрдости, обладающие сочетанием относительно высокой производительности и достаточной стойкости.

Незначительное отклонение характеристики кругов от оптимальной приводит либо к прижогам и трещинам затачиваемой поверхности, когда твердость круга выше, чем требуется, либо к интенсивному износу круга и искажению геометрической формы затачиваемого инструмента, когда твёрдость круга недостаточна. Особенно точно по твёрдости должны быть выбраны круги для заточки инструментов с пластинами из твёрдых сплавов.

Вот некоторые рекомендации, которые могут быть полезными при выборе шлифовальных кругов по твёрдости. При заточке инструментов с твёрдосплавными резцами круг должен обладать высокой самозатачиваемостью. Поэтому при их заточке применяют круги невысоких степеней твёрдости – Н, I, J (мягкий), реже К. Чем больше в твёрдом сплаве карбидов вольфрама или титана, тем мягче должен быть шлифовальный круг.

Когда требуется выдерживать высокую точность формы, размеров, отдают предпочтение тем видам шлифовальных кругов, которые имеют повышенную твердость. С использованием смазочно-охлаждающих жидкостей, при шлифовании применяют более твёрдые круги, чем при шлифовке без охлаждения. Круги на бакелитовой связке должны иметь твёрдость на



1-2 степени выше, чем круги на керамической связке. Для предотвращения появления прижогов и трещин следует применять более мягкие круги.

Под структурой инструмента обычно понимается процентное соотношение объёма абразивного материала в единице объёма инструмента. Чем больше абразивного зерна в единице объёма круга, тем плотнее структура инструмента. Структура абразивного инструмента влияет на величину свободного пространства между зёрнами.

При заточке режущих инструментов желательно применять круги с более свободным пространством между зёрнами, так как это облегчает удаление стружки из зоны резания, уменьшает возможность появления прижогов и трещин, облегчает охлаждение затачиваемого инструмента. Для заточки режущих инструментов применяются круги на керамической связке 7-8-й структуры, на бакелитовой связке – 4-5-й структуры.

При изготовлении шлифовальных кругов, абразивные зёрна скрепляются с основой и друг другом при помощи связки. Наиболее широко применяемые связки: керамическая, бакелитовая и вулканитовая.

Керамическая связка изготавливается из неорганических веществ – глины, кварца, полевого шпата и ряда других путем их измельчения и смешивания в определенных пропорциях. Маркировка шлифовальных кругов с керамической связкой содержит букву (V). Старое обозначение – (K).

Керамическая связка придает абразивному инструменту жесткость, теплостойкость, устойчивость формы, но одновременно и повышенную хрупкость, вследствие чего круги с керамической связкой нежелательно применять при ударной нагрузке, например при обдирочном шлифовании.

Бакелитовая связка в основном состоит из искусственной смолы – бакелита. Маркировка кругов с бакелитом имеет в обозначении латинскую букву (B). Старое обозначение – (B). В сравнении с керамической, бакелитовая связка обладает большей упругостью и эластичностью, меньше нагревает обрабатываемый металл, однако имеет меньшую химическую и температурную стойкость, худшую кромкостойкость.

Бакелитовая связка может быть с упрочняющими элементами (BF, старое обозначение – БУ), с графитовым наполнителем (B4, старое обозначение – Б4).

Вулканитовая связка – это подвергнутый вулканизации синтетический каучук. Маркировка абразивного круга имеет букву (R). Старое обозначение – (B).

В большинстве случаев применяются абразивные круги на керамической или бакелитовой связках. И та и другая имеет свои особенности, которые и определяют их выбор для конкретной работы.

К достоинствам керамической связки относится прочное закрепление зерна в связке, высокая термо- и износостойкость, хорошее сохранение профиля рабочей кромки, химическая стойкость. К недостаткам – повышенная хрупкость, пониженная прочность на изгиб, высокое теплообразование в зоне

резания, а, следовательно, и склонность к прижогам обрабатываемого материала.

Достоинствами бакелитовой связки являются эластичность, хорошая самозатачиваемость круга вследствие пониженной прочности закрепления зерна в связке, сниженное теплообразование. Недостатками – более интенсивный износ в сравнении с керамической связкой, пониженная кромкостойкость, низкая стойкость против охлаждающих жидкостей, содержащих щелочи, невысокая теплостойкость (бакелит начинает приобретать хрупкость и выгорать при температуре выше 200 °С).

Точность размеров и геометрической формы абразивных инструментов обуславливается тремя классами АА, А и Б. Для менее ответственных операций абразивной обработки применяют инструмент класса Б. Более точным и качественным является инструмент класса А. Для работы в автоматических линиях, на высокоточных и многокруговых станках применяется высокоточный инструмент АА. Он отличается более высокой точностью геометрических параметров, однородностью зернового состава, уравнированностью абразивной массы, изготавливается из лучших сортов шлифовальных материалов.

Класс неуравновешенности шлифовального круга характеризует неуравновешенность массы круга, которая зависит от точности геометрической формы, равномерности размешивания абразивной массы, качества прессования и термообработки инструмента в процессе его изготовления. Установлено четыре класса допускаемой неуравновешенности массы кругов. Классы неуравновешенности не имеют отношения к точности балансировки кругов в сборе с фланцами перед установкой их на шлифовальный станок.

## 4 Обозначение режущего инструмента по ISO

В целях удобной и быстрой идентификации основных параметров металлорежущего инструмента разработана унифицированная система буквенно-цифрового обозначения резцов, фрез и СМП. Обозначение остальных групп режущего инструмента разрабатывается производителями самостоятельно.

Обозначение резцов для наружной обработки по ISO состоит из 10 позиций буквенно-цифрового кода (рисунок 4.1).

<b>P</b>	<b>C</b>	<b>L</b>	<b>N</b>	<b>R</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>H</b>	<b>12</b>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Рисунок 4.1 – Пример обозначения державки резца для наружной обработки по ISO

Позиции кода, приведенного на рисунке 4.1 означают: 1 – способ крепления СМП в резцовой державке; 2 – форма СМП; 3 – главный угол в плане

ф; 4 – величина заднего угла  $\alpha$  на СМП; 5 – исполнение державки резца по направлению движения подачи; 6 – высота державки резца; 7 – ширина державки резца; 8 – длина резца; 9 – длина режущей кромки; 10 – точность изготовления (может быть не указана) или особое обозначение производителя.

Для расшифровки обозначения режущего инструмента, для которого предусмотрено обозначение по ISO необходимо использовать соответствующие стандарты: ГОСТ Р 59472–2021 «Резцы токарные и копировальные и резцы-вставки с механическим креплением сменных многогранных пластин. Обозначение», ГОСТ 19042–80 «Пластины сменные многогранные. Классификация. Система обозначений. Формы», ГОСТ ISO 11529–2015 «Фрезы концевые и насадные цельные или с режущими пластинами, или со сменными режущими пластинами. Обозначение».

Для других групп инструмента расшифровку обозначения необходимо приводить в соответствии с информацией производителя. Как правило, каталоги содержат всю необходимую информацию для расшифровки обозначения инструмента (рисунок 4.2).

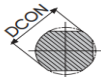
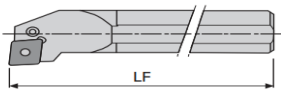















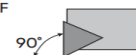
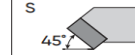
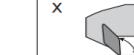



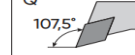
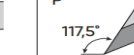
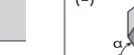
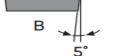
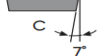
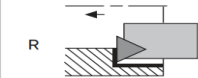


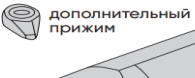
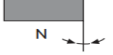
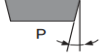




1	2	3	-	4	5	6	7	8	9	10
S	25	S		P	C	L	N	R	12	C
1. Тип Державки				2. Диаметр хвостовика						
A – Стальная, с каналом для СОЖ E – Твердосплавный хвостовик, с каналом для СОЖ C – Твердосплавный хвостовик S – Цельная стальная										
3. Длина инструмента (мм)				X-спец.						
A-32	H-100	Q-180								
B-40	J-110	R-200								
C-50	K-125	S-250								
D-60	L-140	T-300								
E-70	M-150	U-350								
F-80	N-160	V-400								
G-90	P-170	W-450								
4. Тип крепления										
 Прижим C	 Двойной прижим повышенной жесткости T		 Штифт / Прижим M		 Штифт / клин или рычаг P		 Винт S			
5. Форма пластины										
 C	 D	 E	 V	 R	 S	 W	 K	 T		
6. Угол в плане										
L  95°	F  90°	S  45°	X  93°	J  93°						
U  93°	K  75°	Q  107,5°	P  117,5°	(-)  $\alpha$						
7. Задний угол пластины			8. Исполнение		9. Длина режущей кромки		10. Доп. параметр			
 B 5°	 C 7°	 R		 T L		 S L		 дополнительный прижим		
 N 0°	 P 11°	 L		 C L		 D L				

Рисунок 4.2 – Расшифровка обозначений расточных державок производителя «Микробор-Композит»

## 5 Инструментальная оснастка

### 5.1 Инструментальная оснастка токарных станков с ЧПУ

Для установки режущего инструмента в токарных станках с ЧПУ используются инструментальные блоки, которые посредством определенной системы крепления устанавливаются в револьверную головку (рисунок 5.1).



Рисунок 5.1 – Револьверные головки

Базирование инструментальной оснастки может осуществляться по радиальной «солнышко» и/или торцевой «барабан» поверхности револьверной головки.

Инструментальные блоки (рисунок 5.2) устанавливаются в revolverную головку и предназначены для установки широкой номенклатуры режущего инструмента. Инструментальный блок может иметь прямое или угловое исполнение, быть приводным, обладать поворотной координатой. Современные инструментальные блоки обеспечивают возможность подачи СОЖ в зону резания через специальные каналы в самом блоке и в инструменте.



Рисунок 5.2 – Инструментальные блоки: прямой (слева), угловой (в центре), приводной с изменяемым углом поворота (справа)

Для закрепления вращающегося инструмента (свёрла, фрезы и т. д.) могут использоваться как приводные блоки, так и блоки, не оснащенные приводом. В последнем случае возможна обработка только отверстий, ось которых совпадает с осью шпинделя станка.

Инструментальный блок для приводного инструмента может иметь модульную конструкцию, быть многопозиционным (рисунок 5.3).

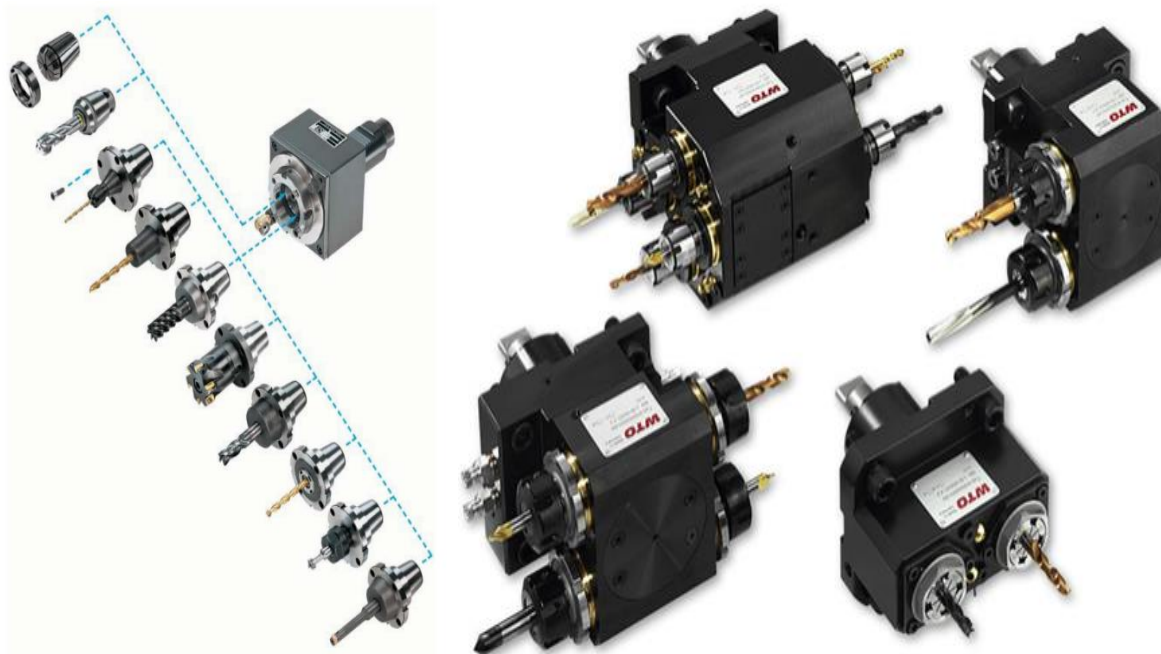


Рисунок 5.3 – Модульный инструментальный блок (слева), многопозиционные инструментальные блоки (справа)



Установка инструментальных блоков осуществляется с помощью одной из систем крепления. Широкое распространение получили системы VDI, BMT, PU, Coromant Capto.

В случае необходимости закрепления неприводного осевого режущего инструмента могут быть использованы блоки типа PU (рисунок 5.4). Блоки отличаются дешевизной, простотой и жёсткостью конструкции, повторяемостью установки.



Рисунок 5.4 – Инструментальный блок с системой крепления PU

Держатели VDI («Verein Deutscher Ingenieure», Общество инженеров Германии) закрепляются посредством цилиндрического хвостовика с рейкой (рисунок 5.5). Ответная часть револьверной головки так же имеет форму рейки; при закручивании винта зубцы и впадины входят в контакт, фиксируя адаптер.

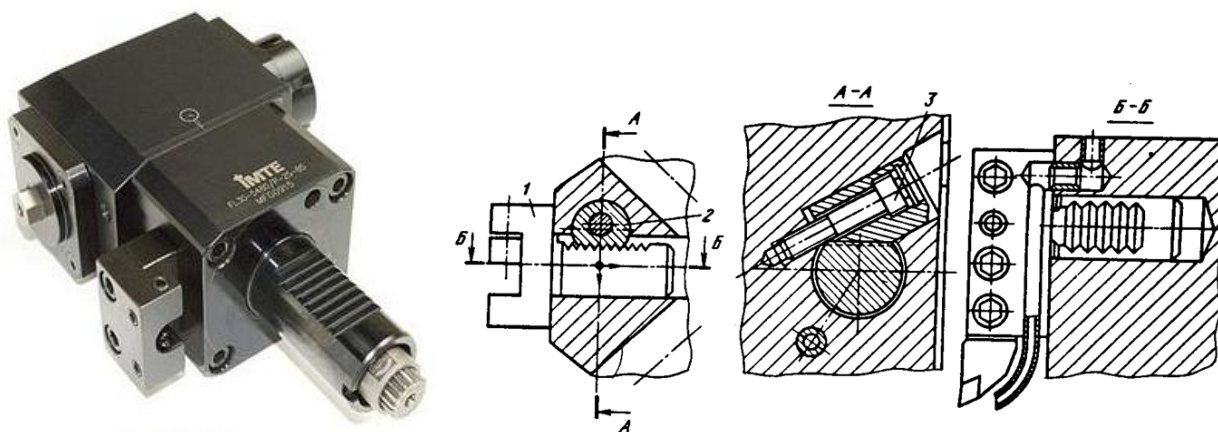


Рисунок 5.5 – Инструментальный блок с системой крепления VDI

BMT – «Base Mounted Turret» (примерный перевод «установочная башня») является более жестким по сравнению с VDI. BMT крепится к револьверной головке посредством 4 болтов, а так же фиксируется при помощи ключа – пазов и ответных выступов на адаптере и револьверной головке (рисунок 5.6).

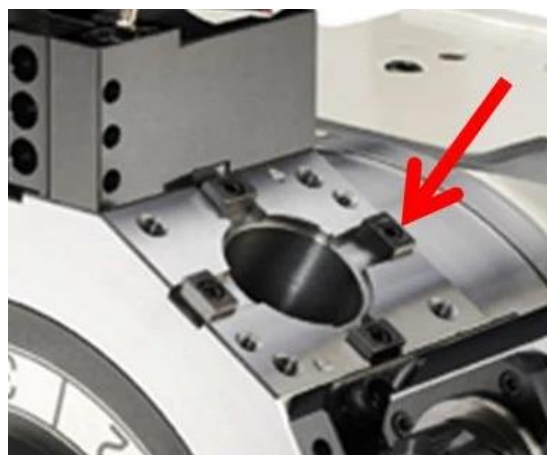


Рисунок 5.6 – Инструментальный блок с системой крепления BMT

Адаптеры системы VDI быстрее устанавливаются, более широко распространены, имеют возможность установки как на радиальной, так и на торцевой поверхности револьверной головки; возможна регулирование соосности инструмента.

Адаптеры BMT жестче (график зависимости отклонения в градусах от изгибающего момента снизу), более компактные и сбалансированные (конструкция BMT симметрична в отличие от VDI); обладают высокой повторяемостью установки.

## 5.2 Инструментальная оснастка фрезерных станков с ЧПУ

Для закрепления режущего инструмента во фрезерных станках используются различные патроны (оправки). Патроны устанавливаются в инструментальный интерфейс шпинделя фрезерного станка (рисунок 5.7).

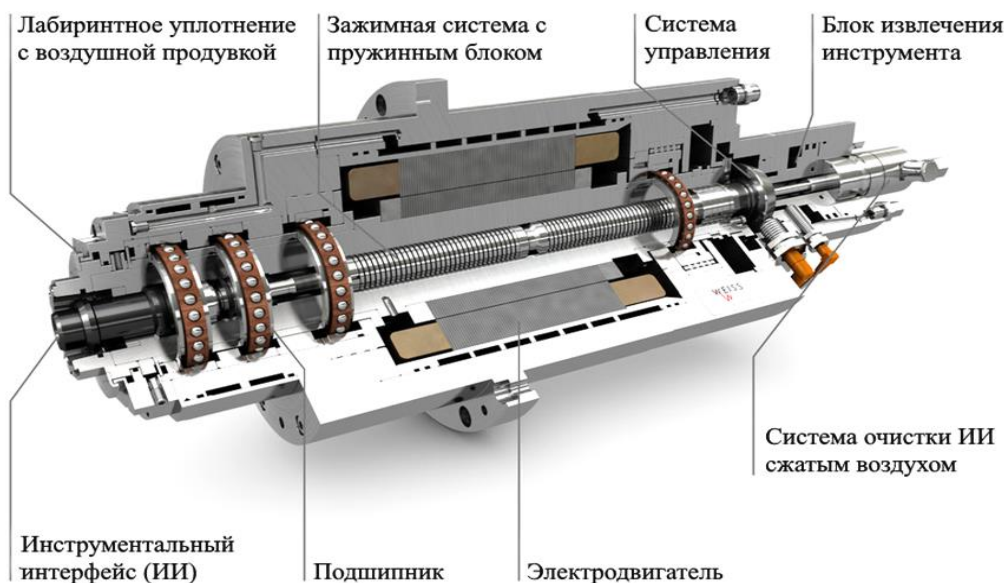


Рисунок 5.7 – Устройство мотор-шпинделя фрезерного станка с ЧПУ

Кроме различных вариантов реализации закрепления инструмента, патроны имеют различный хвостовик (рисунок 5.8). Хвостовик патрона имеет коническую форму – она обеспечивает высокую точность центрирования и надежность крепления. Появление новых инструментальных конусов связано как с приданием им определенной специализации в обработке, так и с общим техническим прогрессом. Часть конусов схожих стандартов взаимозаменяема (так, конус ISO допускается устанавливать в интерфейс BIG-PLUS), но, в целом, подразумевается наличие соответствующего интерфейса со стороны станка.



Рисунок 5.8 – Патроны с инструментальным конусом SK (слева), HSK (в центре); фреза с коническим хвостовиком (конус Морзе) (справа)

С распространением станков с ЧПУ встала необходимость обеспечения автоматической смены инструмента, что повлекло разработку соответствующего инструментального конуса.

Существует ряд национальных и международных стандартов на этот конус, отличающихся базовой размерностью (дюймовая или метрическая), вспомогательными элементами (фланцы, штрелели, каналы подачи СОЖ) и обозначениями. Конуса, изготовленные по разным стандартам, не всегда взаимозаменяемы.

К конусам 7:24 (рисунок 5.9) относят инструментальные конусы следующих стандартов (перечислены стандарты для разновидностей конусов с автоматической заменой): ISO 7388–2007 – международный, ГОСТ 25827–2014 – Россия, SK (DV) – Германия, NT и CAT – Америка, BT – Япония, NFE 62540 – Франция, IS11173 – Индия.



Рисунок 5.9 – Патрон Weldon с конусом SK40



Систему HSK отличает контакт по фланцу и закрепление сегментной цангой с пустотелым конусом, исключая необходимость использования центральных болтов.

HSK имеет множество конфигураций (рисунок 5.10).

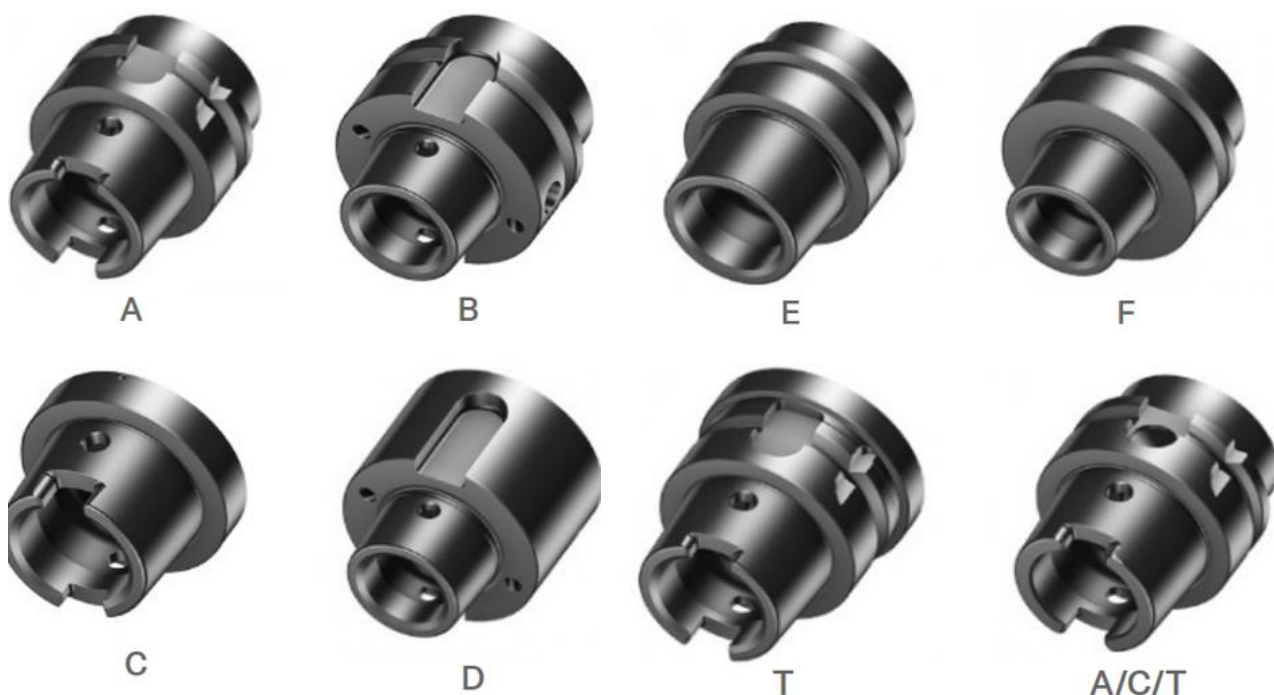


Рисунок 5.10 – Инструментальные конусы HSK

Тип А – общая механообработка, высокие изгибающие нагрузки и умеренный крутящий момент.

Тип В – для невращающегося инструмента, умеренные изгибающие нагрузки, высокий крутящий момент, специальные виды обработки.

Тип С – общая механообработка, высокие изгибающие нагрузки и умеренный крутящий момент, ручная смена инструмента.

Тип D – для невращающегося инструмента, умеренные изгибающие нагрузки, высокий крутящий момент, специальные виды обработки, ручная смена инструмента.

Тип Е – высокоскоростная обработка, лёгкие и прочные шпиндели, низкие изгибающие моменты и крутящий момент, автоматическая смена инструмента, лёгкая балансировка.

Тип F – умеренные скорости, обработка мягких материалов, средние изгибающие моменты и крутящий момент, автоматическая смена инструмента, лёгкая балансировка.

Тип Т – вращающийся и невращающийся инструмент с жёсткими допусками направляющего паза (для установки инструмента).

Достоинством системы Coromant Capto является отсутствие необходимости в торцевых шпонках: вращение передается непосредственно на хвостовик, профиль сечения которого похож на треугольник Рёло (рисунок 5.11). За счёт большей площади контакта возрастает жёсткость и

максимально передаваемый крутящий момент. Кроме того, повышается точность позиционирования инструмента.



Рисунок 5.11 – Хвостовик Coromant Capto

Интерфейс Coromant Capto (также Capto, CAMFIX) является универсальным и может применяться в инструментальной оснастке токарных и фрезерных станков для закрепления большинства видов режущего инструмента.

Для крепления режущего инструмента с гладким цилиндрическим хвостовиком диаметром до 20 мм применяют цанговые патроны (рисунок 5.12).



Рисунок 5.12 – Цанговый патрон (слева) и цанги (справа)

Основной рабочий элемент цангового патрона – это цанга с несколькими осевыми прорезями, которые разделяют её на лепестки, число которых зависит от диаметра. Для крепления осевого инструмента с цилиндрическим хвостовиком диаметром более 20 мм применяют силовые цанговые патроны с повышенным зажимным усилием.

Патроны Weldon применяются для инструмента с Weldon-хвостовиком. Принцип действия: хвостовик инструмента имеет лыску, зажатие осуществляет закручиванием винта, винт упирается в площадку лыски, надёжно фиксируя инструмент.

Патрон Whistle Notch сходен с Weldon (рисунок 5.13), но лыска на инструменте и зажимной винт выполняются под углом, и винт не только прижимает инструмент к стенке патрона, но и затягивает его внутрь.



Рисунок 5.13 – Внешний вид патрона Weldon (слева) и инструмент с соответствующим хвостовиком (в центре); устройство патрона Whistle Notch (справа)

Патроны для закрепления насадных торцовых и дисковых фрез представлены на рисунке 5.14.



Рисунок 5.14 – Патроны для закрепления насадных торцовых и дисковых фрез

Термозажимной патрон применяется для тех же целей, что и цанговый патрон. Отличие заключается в принципе зажима инструмента: патрон разогревается в специальном устройстве, и его отверстие увеличивается за счет термического расширения. Затем в него вставляется инструмент, и патрон охлаждают на воздухе либо в специальном устройстве (рисунок 5.15). Разжим происходит аналогично. Достоинство термопатрона – в высоком усилии зажима, которого невозможно достичь в цанговом и тем более сверлильном патроне. Применение такого патрона позволяет снизить вибрацию и существенно повысить стойкость инструмента.



Рисунок 5.15 – Термозажимной патрон

В гидрозажимном патроне (рисунок 5.16) зажим инструмента осуществляется за счёт давления жидкости. Для зажима/разжима патрона достаточно повернуть винт в боковой поверхности. Инструмент может зажиматься как непосредственно в патрон, так и через переходную цангу, что позволяет использовать один патрон для большой номенклатуры инструмента.

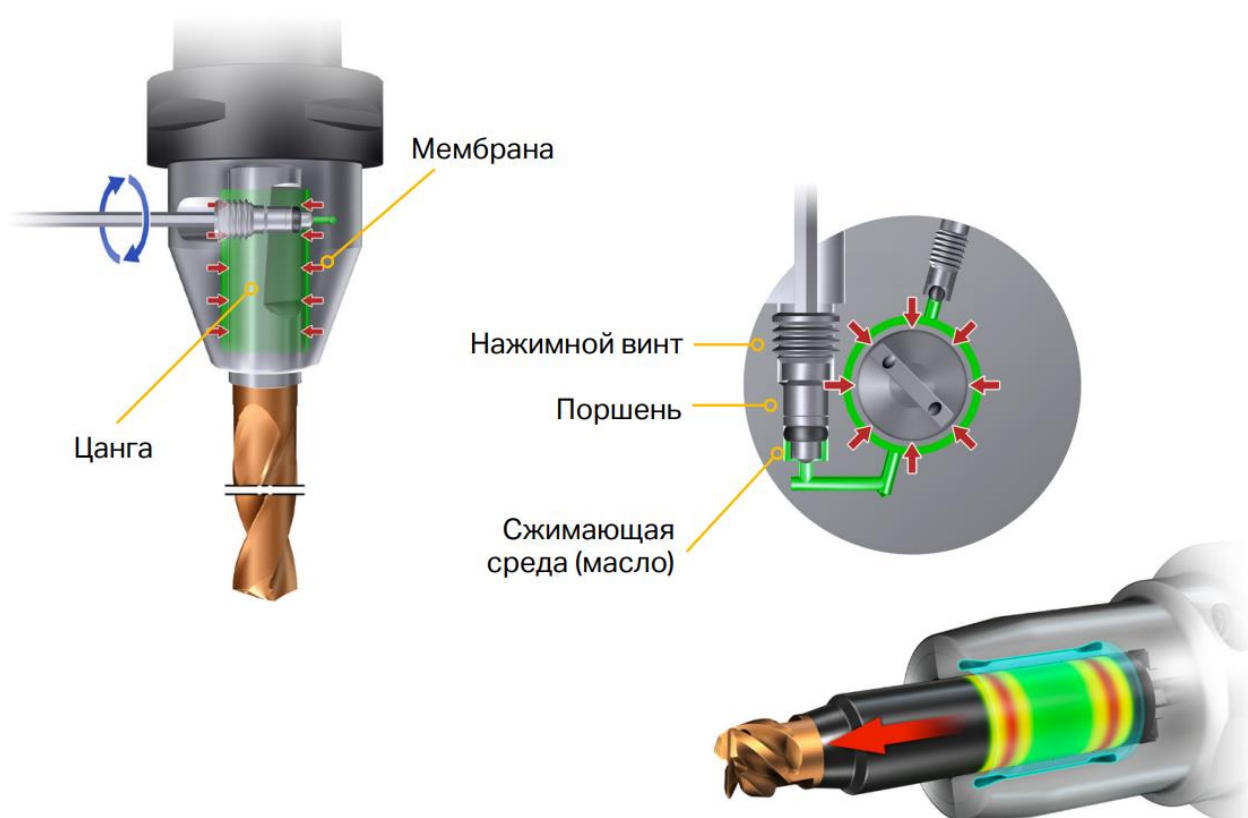


Рисунок 5.16 – Гидрозажимной патрон

Резьбонарезные патроны имеют механизмы осевой компенсации, позволяющие компенсировать разность между подачей станка и шагом метчика,

предусмотрен механизм быстрой смены головок предохранительных на другой диаметр метчика (рисунок 5.17).



Рисунок 5.17 – Резьбонарезной патрон

Патрон имеет встроенную предохранительную шариковую муфту с механизмом регулировки передаваемого крутящего момента для нарезания резьбы в различных материалах, что позволяет предохранить метчики от поломки (при увеличении момента метчик останавливается). Это наиболее целесообразно при нарезании резьб в глухих отверстиях, труднообрабатываемых материалах, при нарезании резьб с мелким шагом.

Сверлильный патрон (рисунок 5.18) применяется для закрепления инструмента на оси шпинделя станка. Достоинством сверлильного патрона является возможность зажимать инструмент в очень широком диапазоне диаметров. Однако, сверлильный патрон не предназначен для резания с радиальными нагрузками, т. е. его применение для фрезерования невозможно.



Рисунок 5.18 – Сверлильный патрон

В процессе обработки детали может возникнуть необходимость обработки детали под углом к оси шпинделя станка. Эта задача может решаться при помощи угловой головки (рисунок 5.19).



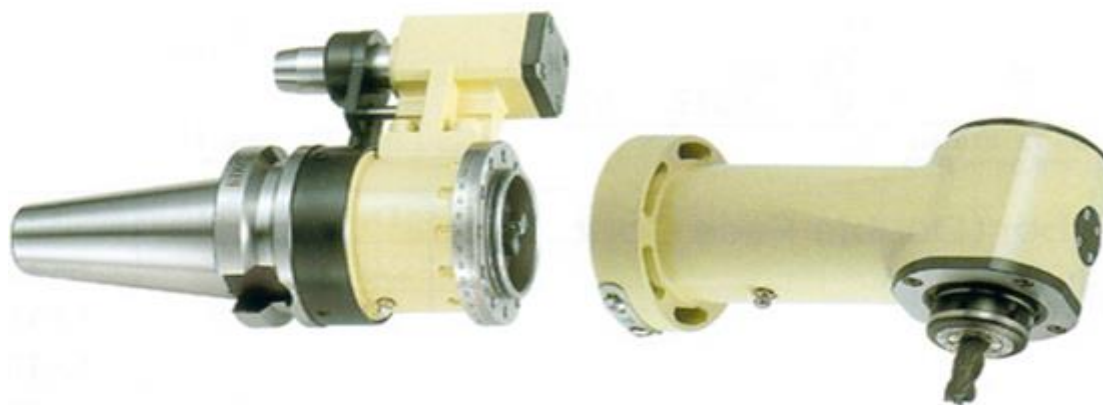


Рисунок 5.19 – Модульная угловая головка

Угловые головки цельного типа рассчитаны на единственный заданный угол, изменить который невозможно.

Модульные угловые головки состоят из базовой части, устанавливаемой в конус шпинделя станка, и сменной части. Для данных типов головок характерны углы в 30°, 45°, 60° и 90°.

Существуют угловые головки с регулируемым углом.

## 6 Методика выбора режущего инструмента по каталогу

Методика выбора режущего инструмента по каталогам производителя выполняется различными способами: при помощи электронного каталога (аналога печатного), интерактивного каталога, «умного» каталога. Пример описания режущего инструмента в курсовом проекте приведен в приложении Б настоящих методических указаний.

Условия задания: выбор инструмента для наружного чернового и получистового точения цилиндрической поверхности с уступом, подрезки торца; материал заготовки – прокат стали 45 горячекатаный круглый ГОСТ 2590–2006 в состоянии поставки; глубина резания до 4 мм; в целях унификации используемой инструментальной оснастки рекомендовано использование квадратного хвостовика 25x25. Выбор резцового блока системы VDI.

### 6.1 Выбор режущего инструмента при помощи электронного каталога

Представлена методика выбора режущего инструмента по электронному каталогу на примере каталога производителя «Микробор-композит». Аналогичный порядок действий применим для бумажных каталогов.

На сайте производителя <https://microbor.com/> необходимо открыть каталог «Токарный инструмент». Произойдет загрузка каталога, либо он откроется в окне браузера.

Анализируя информацию каталога исходя из перечня обрабатываемых поверхностей, можно установить, что из перечисленной номенклатуры подходят державки серий SCLCR, MWLNR, TCLNR, PWLNR (рисунок 6.1) и некоторые другие. При примерно одинаковой стоимости пластины типа С обладают большей прочностью, но меньшим количеством переустановок пластины (2 против 3 у пластины типа W). Исходя из задания, ожидаются стабильные условия обработки, поэтому выбирается тип державки MWLNR.

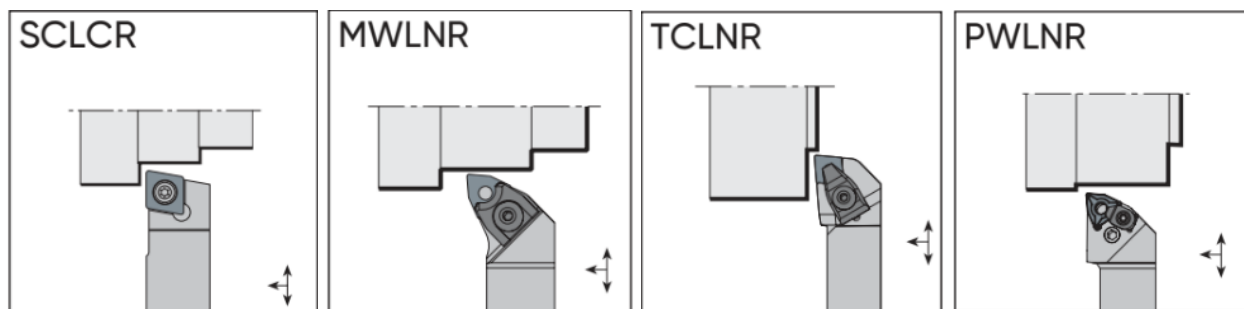


Рисунок 6.1 – Серии токарных державок

Для глубины резания 4 мм необходимо использовать пластину W геометрии с длиной режущей кромки 08. Выбирается державка MWLNR 2525 M08 (рисунок 6.2).



Рисунок 6.2 – Токарная державка MWLNR 2525 M08

Для чернового точения выбирается пластина WNMG 080408 со стружколомом XR (рисунок 6.3, слева), для получистового точения выбирается пластина WNMG 080404 со стружколомом XN. Материал пластин – МК6020 с покрытием CVD, аналог по назначению T15K6 с покрытием TiN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiCN.



Рисунок 6.3 – Пластина WNMG 080408 (в центре) и формы ее стружколома для черновой (слева) и чистовой обработки (справа)

В соответствии с информацией каталога для покрытия МК6020 и материала сталь 45 рекомендованные режимы резания находятся в пределах от 200 до 400 м/мин. Подача при черновой обработке от 0,22 до 0,5 мм<sup>-1</sup>, при получистовой – от 0,05 до 0,3 мм<sup>-1</sup>.

## 6.2 Выбор режущего инструмента при помощи интерактивного каталога

Разбирается методика выбора режущего инструмента по интерактивному каталогу на примере ISCAR. Для этого необходимо перейти на сайт производителя [www.iscar.ru](http://www.iscar.ru), а затем зайти в электронный каталог.

В панели выбора вида обработки выбирается наружное точение ISO. Первым выбором каталог предлагает державку для наружного точения с пластиной в форме тригона с главным углом в плане  $95^\circ$  (рисунок 6.4).



Рисунок 6.4 – Вход в интерактивный каталог, выбор вида обработки, типа и расположения пластины в державке

По каталогу производителя выбирается тип державки MWLNR, из предложенной таблицы выбираем державку требуемого сечения MWLNR 2525M-08W. Из страницы державки становится доступен выбор совместимых пластин и совместимой оснастки (рисунки 6.5 и 6.6).

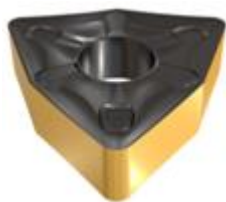


Рисунок 6.5 – Выбор типа державки (слева) и страница выбранной державки (справа)

Для черновой обработки выбрать пластины WNMG 080408-TNM из сплава IC9250 (аналог по применению – T15K6) с покрытием  $\text{TiN-Al}_2\text{O}_3\text{-TiCN}$ . Рекомендованный диапазон скорости резания от 170 до 300 м/мин. Подача от 0,25 до 0,45 мм<sup>-1</sup>.

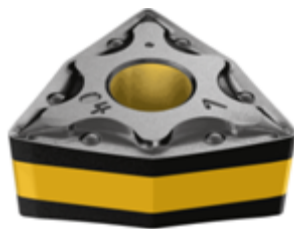
Для получистовой обработки выбираются пластины WNMG 080408-WF из сплава IC8150 (аналог по применению – T30K4) с покрытием  $\text{TiCN+Al}_2\text{O}_3\text{+TiCN+TiN}$ . Рекомендованный диапазон скорости резания от 260 до 340 м/мин. Подача от 0,07 до 0,35 мм<sup>-1</sup>.





**WNUMG-TNM**

Двухсторонние тригональные пластины для получистовой и чистовой обработки



**WNUMG-WF**

Двухсторонние тригональные пластины Wireg для чистовой обработки с большими подачами



**C#-ASHR/L**

Адаптеры с хвостовиком CAMFIX для наружных державок с квадратным сечением

Рисунок 6.6 – Выбранные пластины для черновой (слева) и получистовой обработки (в центре). Предложенная инструментальная оснастка (справа)

Вместе с тем, ISCAR предлагает адаптеры исключительно систем крепления CAMFIX и HSK-63, в связи с чем выбор инструментальной оснастки необходимо произвести у другого производителя.

### 6.3 Выбор режущего инструмента при помощи «умного» каталога

Рассматривается порядок выбора режущего инструмента с помощью «умного» каталога Seco. Для этого на сайте [www.secotools.com](http://www.secotools.com) в интерактивном меню необходимо выбрать режим «Suggest», после чего выбрать группу обрабатываемости. Для стали 45 это P4 (рисунок 6.7)

P Steels, ferritic, martensitic and precipitation-hardening stainless steels ^			
P	Reference material		
<input type="checkbox"/>	P1	11 SMn30	⚙
<input type="checkbox"/>	P2	S235JRG2	⚙
<input type="checkbox"/>	P3	16 MnCr 5	⚙
<input checked="" type="checkbox"/>	P4	C 45E	⚙

Рисунок 6.7 – Выбор группы обрабатываемого материала

Внизу страницы необходимо выбрать пункт 2 «Features», где последовательно выбрать тип обработки (наружное точение, точение цилиндрической поверхности и уступа). Затем ввести параметры обработки (в мм): обрабатываемый диаметр (Dc), длину резания (Lc), припуск на сторону (Sr), радиус угла буртика (Rc) (фактически, определяет радиус вершины резца). Угол буртика (As) автоматически задан равным 90° (рисунок 6.8).

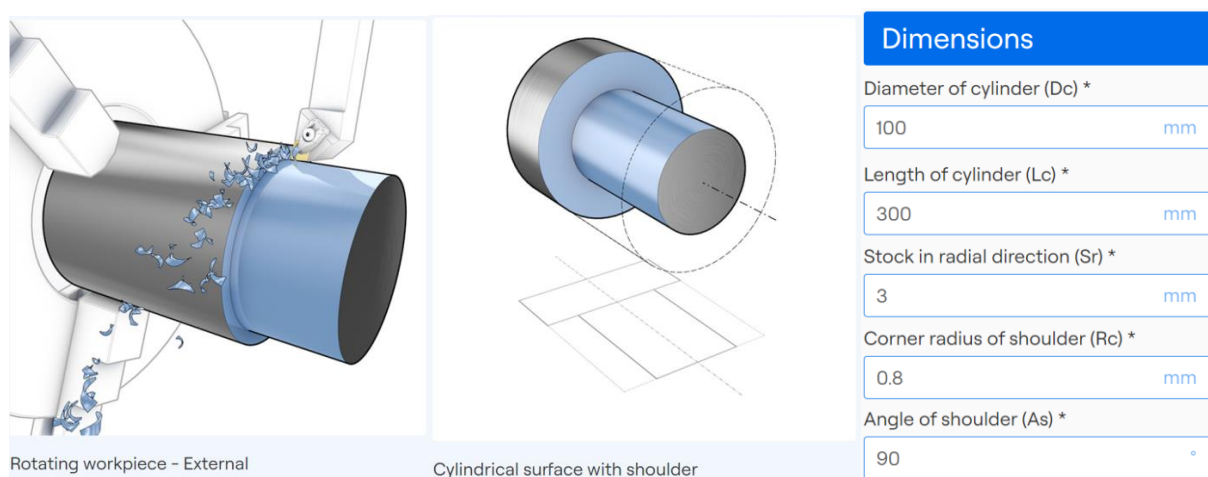


Рисунок 6.8 – Параметры обработки

Далее необходимо задать условия обработки: жёсткость системы (жёсткая/нежёсткая), условия резания (стабильное, прерывистое, сложное прерывистое) и состояние обрабатываемой поверхности (предварительно обработанная, по корке, с абразивными включениями). Далее выбрать систему измерения (метрическая по умолчанию), тип державки, высоту державки, исполнение (левое/правое). Далее указать параметры станка: максимальную скорость вращения шпинделя, мощность и максимальный крутящий момент (все параметры можно оставить по умолчанию). Затем необходимо перейти во вкладку «Result».

На вкладке «Result» представлены: рекомендуемая державка и пластина (рисунок 6.9), рекомендуемые технологические режимы и стратегия обработки (рисунок 6.10). Выбор пластины и державки происходит на основе приближённого расчёта стоимости выполнения технологического перехода. При необходимости, можно выбрать другие подходящие сочетания. Ряд умных каталогов, например, Sandvik Coromant Toolguide, указывают процентное увеличение стоимости обработки относительно лучшего варианта.

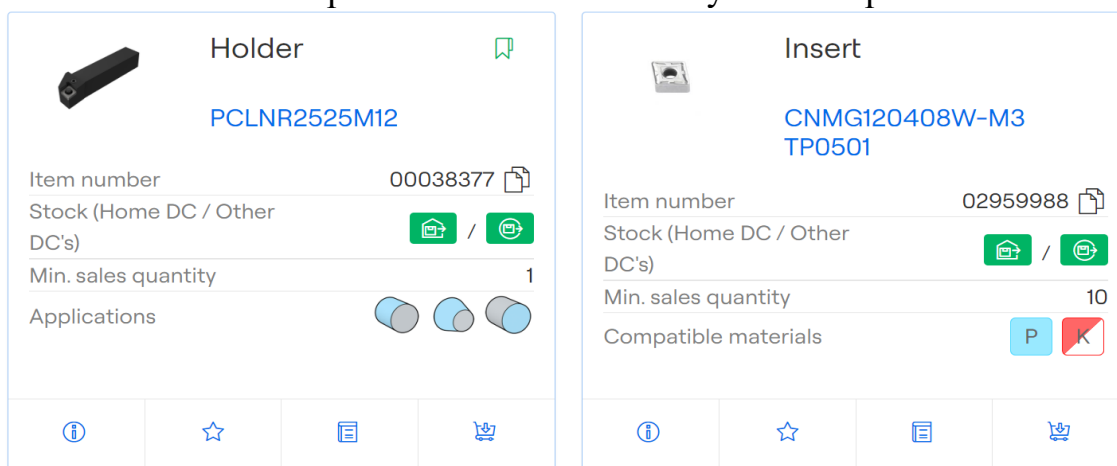


Рисунок 6.9 – Рекомендованные умным каталогом державка и пластина

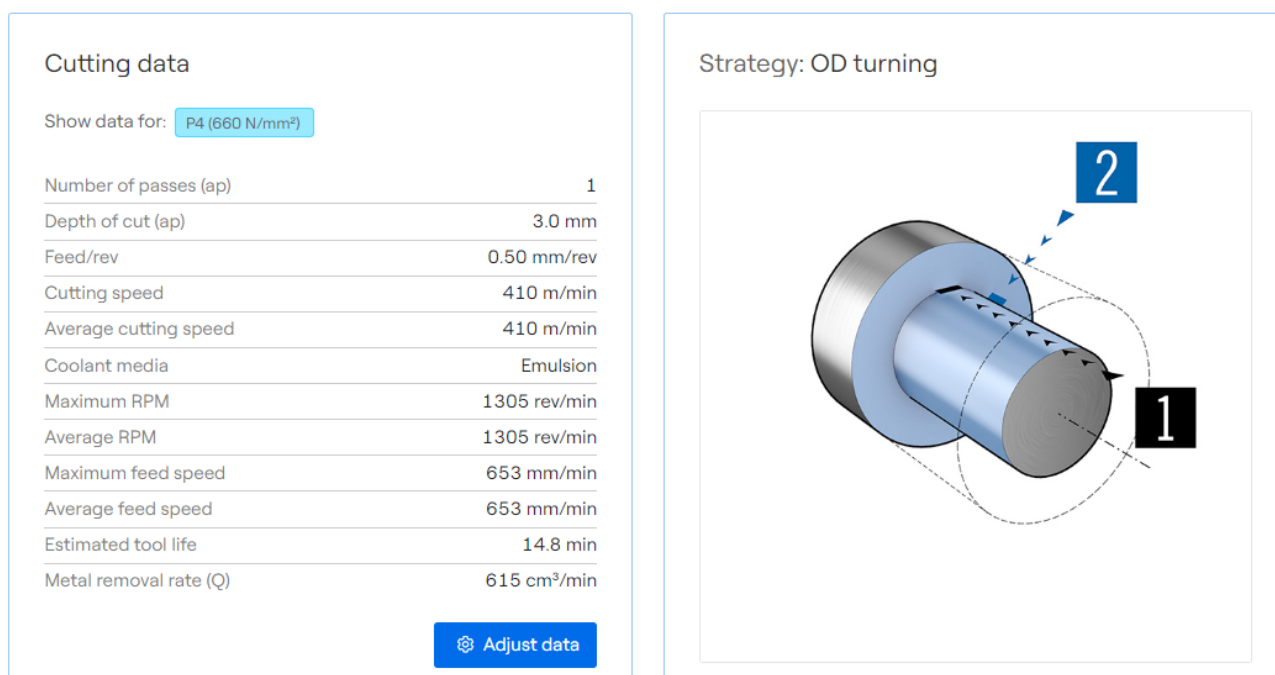


Рисунок 6.10 – Технологические режимы и стратегия обработки

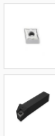
Умный каталог Seco позволяет сравнить параметры инструментов и технологические режимы. На рисунке 6.11 приведено сравнение предложенного ими резца PCLNR 2525 M12 под ромбические пластины типа С с резцом DWLNR 2525 X08JETI, который сходен с ранее выбранными резцами.

В условиях фактического отсутствия ограничений по мощности резания пластина С реализует преимущество в прочности практически в 1,5 раза более высокой подачей. Не смотря на большую скорость резания у пластины с геометрией W, объемная скорость съема материала у пластины С выше более чем на 25 %.

Умные каталоги позволяют корректировать исходные данные. Задав максимальную мощность резания в 20 кВт и выполнив аналогичное сравнение были получены следующие результаты:

- первоначальная комбинация «державка + пластина» осталась первым выбором по стоимости обработки;
- скорости объемного съема материала практически сравнялись, однако инструмент с пластиной типа С обладал преимуществом в скорости подачи, а инструмент с пластиной типа W – в скорости резания;
- в связи с тем, что равная производительность пластины типа W с пластиной типа С была достигнута повышением скорости резания пластиной W, расчетная стойкость пластины W оказалась более чем в полтора раза меньше, чем у пластины типа С (21,5 минут против 34 минут), что соответствует выводам о том, что повышение скорости подачи является более эффективным путем повышения производительности, чем повышение скорости резания, которые приводятся в соответствующей литературе.

## Product Data



Insert  
CNMG120408W-M3 TP0501

Holder  
PCLNR2525M12



Insert  
WNMG080408-M5 TP0501

Holder  
DWLNR2525X08JETI

Tool family	General Turning - ISO	General Turning - ISO
Strategy	OD turning	OD turning
MRR (cm <sup>3</sup> /min)	615	488
Gradetype	Carbide CVD	Carbide CVD
CUTINT_SIZESHAPE	CN1204	WN0804
RE (mm)	0.8	0.8
KAPRS (deg)	95	95
CEDC	4	6
SC	C	W
Pc (kW)	27.6	22.9
Mc (Nm)	171	121

Cutting data Show data for: P4 (660 N/mm<sup>2</sup>)

Step	Step 1	Step 1
Number of passes (ap)	1	1
Depth of cut (ap)	3.0 mm	3.0 mm
Feed/rev	0.50 mm/rev	0.34 mm/rev
Cutting speed	410 m/min	480 m/min
Average cutting speed	410 m/min	480 m/min
Coolant media	Emulsion	Emulsion
Maximum RPM	1305 rev/min	1528 rev/min
Average RPM	1305 rev/min	1528 rev/min
Maximum feed speed	653 mm/min	519 mm/min
Average feed speed	653 mm/min	519 mm/min
Estimated tool life	14.8 min	14.8 min
Metal removal rate (Q)	615 cm <sup>3</sup> /min	488 cm <sup>3</sup> /min

Рисунок 6.11 – Сравнение эффективности обработки различными инструментами

## Библиографический список

1. ГОСТ 25751-83 (СТ СЭВ 6506-88). «Инструменты режущие. Термины и определения общих понятий». – Москва : Стандартов, 1983. – 27 с.
2. ГОСТ Р ИСО 513–2019. «Материалы твердые режущие. Классификация и применение. Обозначение групп применения». – Москва : Стандартиформ, 2019. – 8 с.
3. ГОСТ 19265–73. «Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия». – Москва : Стандартиформ, 1973. – 22 с.
4. ГОСТ 3882–74 (ИСО 513–75). «Сплавы твердые спеченные. Марки». – Москва : Стандартов, 2008. – 12 с.
5. ГОСТ 26630–85 (СТ СЭВ 4814-84). «Материалы керамические инструментальные. Марки». – Москва : Стандартов, 1985. – 4 с.
6. ГОСТ 28762–90. «Пластины режущие сменные из сверхтвердых материалов. Технические условия». – Москва : Стандартиформ, 1990. – 26 с.
7. ГОСТ 21445–84 (СТ СЭВ 4403–83). «Материалы и инструменты абразивные». – Москва : Стандартиформ, 2007. – 26 с.
8. ГОСТ Р 52780–2007. «Круги шлифовальные и заточные. Технические условия». – Москва : Стандартов, 1985. – 32 с.
9. ГОСТ 24747–90 (СТ СЭВ 675–89). «Инструмент алмазный и эльборовый. Обозначения форм и размеров». – Москва : Стандартов, 1990. – 16 с.
10. ГОСТ Р 52381–2005. «Материалы абразивные. Зернистость и зерновой состав шлифовальных порошков. Контроль зернового состава». – Москва : Стандартиформ, 2005. – 15 с.
11. ГОСТ Р 52587–2006. «Инструмент абразивный. Обозначения и методы измерения твердости». – Москва : Стандартиформ, 2006. – 12 с.
12. ГОСТ Р 59472–2021 (ИСО 5608–2012). «Резцы токарные и копировальные и резцы-вставки с механическим креплением сменных многогранных пластин. Обозначение». – Москва : Стандартиформ, 2021. – 16 с.
13. ГОСТ 19042–80 (ИСО 1832–85). «Пластины сменные многогранные. Классификация. Система обозначений. Формы». – Москва : Стандартов, 1980. – 40 с.
14. ГОСТ ISO 11529–2015. «Фрезы концевые и насадные цельные или с режущими пластинами, или со сменными режущими пластинами. Обозначение». – Москва : Стандартиформ, 2015. – 20 с.
15. ГОСТ 25827–2014. «Хвостовики инструментов с конусом 7:24 для ручной и автоматической смены инструмента. Типы А, AD, AF, U, UD, UF, J, JD и JF». – Москва : Стандартиформ, 2014. – 19 с.
16. ГОСТ 26539–85 (СТ СЭВ 4642–84). «Патроны цанговые с конусом 7:24 для крепления инструмента с цилиндрическим хвостовиком. Основные размеры». – Москва : Стандартов, 1985. – 4 с.

17. Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки. Под ред. проф. П.Г. Петрухи. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1974. – 616 с.
18. Ящерицын, П.И. Основы резания материалов и режущий инструмент: Справочник / П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, Н.И. Жигалко. – 2-е изд., доп. и перераб. – Минск : Выш. Школа, 1981. – 560 с.
19. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент: Справочник. / В.С. Самойлов, Э.Ф. Эйхманс, В.А. Фальковский и др. – Москва : Машиностроение, 1988. – 368 с.
20. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филлипов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Ленинград : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.
21. Справочник конструктора-инструментальщика: Под общ. ред. В.И. Баранчикова. – Москва : Машиностроение, 1994. – 560 с.
22. Григорьев, С.Н. Инструментальная оснастка станков с ЧПУ: Справочник / С.Н. Григорьев, М.В. Кохомский, А.Р. Маслов. – Москва : Машиностроение, 2006. – 544 с.
23. Резание материалов. Режущий инструмент в 2 ч. Часть 1: учебник для среднего профессионального образования / А.Г. Схиртладзе [и др.]; под общей редакцией Н.А. Чемборисова. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 263 с.
24. Резание материалов. Режущий инструмент в 2 ч. Часть 2: учебник для вузов / С.Н. Григорьев [и др.]; под общей редакцией Н.А. Чемборисова. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 246 с.
25. Режущий инструмент: методические указания / Н.В. Грибов. – Рязань : Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, 2016. – 56 с.

## Приложение А

### Бланк задания на курсовой проект

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Рязанский институт (филиал)  
федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Московский политехнический университет»

Кафедра «Энергетические системы и точное машиностроение»

### ЗАДАНИЕ

на выполнение курсового проекта по дисциплине «Режущий инструмент»

«Выбор режущего инструмента и инструментальной оснастки для механической обработки детали \_\_\_\_\_»

Исходные данные: чертеж детали \_\_\_\_\_

Рекомендуемые каталоги производителей режущего инструмента: \_\_\_\_\_

Структура пояснительной записки:

Титульный лист

Задание на выполнение курсового проекта

Содержание

Введение

1. Выбор режущего инструмента для механической обработки детали

2. Выбор инструментальной оснастки

Заключение

Библиографический список

Приложение А – Чертёж детали

Приложение Б – Маршрутная технология изготовления детали

Структура графической части: на листе формата А1 приводятся 3D модели режущего инструмента в инструментальной оснастке, изображение СМП (при наличии), названия и обозначения инструмента, инструментальной оснастки, пластин. При необходимости, размещается дополнительная информация.

Задание принял к исполнению: \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/

Руководитель курсового проекта: \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/

Срок защиты работы: «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.



## Приложение Б

Пример описания режущего инструмента

**Фреза концевая MITSUBISHI AN90J4R0804A4.**

На рисунке Б.1 представлены фрагменты чертежа детали с размерами поверхностей, обрабатываемыми данным инструментом.

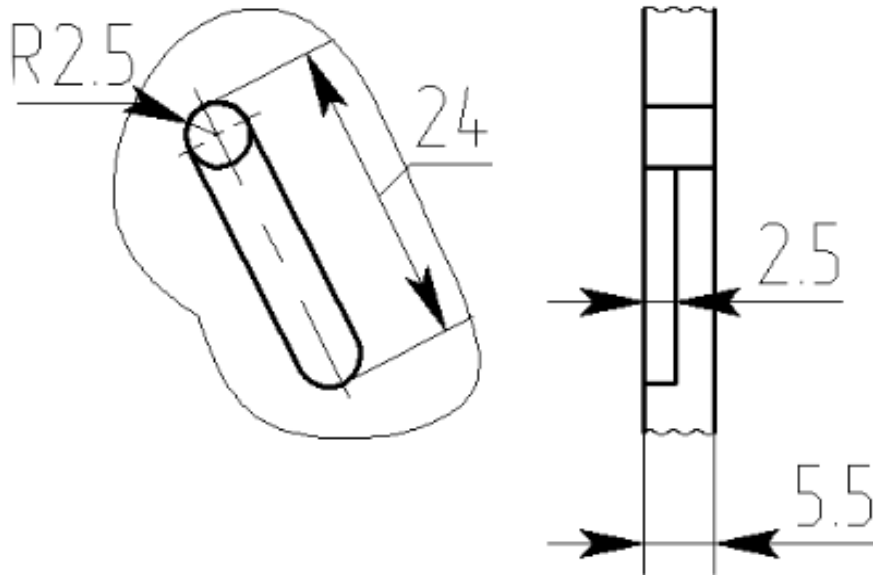
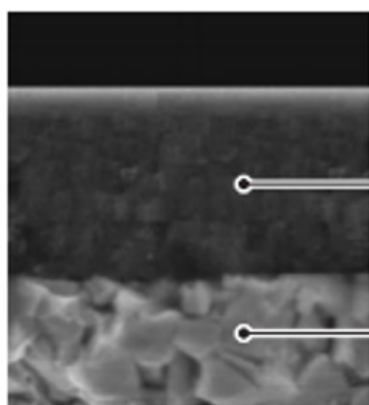


Рисунок Б.1 – Обрабатываемые поверхности

Для обработки указанных поверхностей целесообразен выбор концевой фрезы типа AN90J4R0104A4. Расшифровка обозначения:

- А – цельная, со сплошными режущими кромками;
- Н – боковое и торцовое резание;
- 90 – главный угол в плане 90°;
- J – угол подъема стружечной канавки  $35^\circ < \omega \leq 45^\circ$ ;
- 4 – диаметр фрезы 4 мм;
- R – правое резание (правое вращение);
- 01 – максимальная глубина резания 1 мм;
- 04 – четыре зуба;
- A – гладкий цилиндрический хвостовик;
- 4 – диаметр хвостовика в мм.

Для обработки жаропрочной стали 38X2МЮА (группа обрабатываемости Р) по каталогу производителя Mitsubishi выбираем материал марки UWC (примерный отечественный аналог – ВК6-М). Для фрезерования стали 38X2МЮА производителем рекомендовано однослойное покрытие MS (нитрид титана, алюминия), структура которого представлена на рисунке Б.2.



Однослойная технология покрытия с высоким содержанием Al-(Al, Ti)N

Специальная спечённая твердосплавная основа

Рисунок Б.2 – Структура износостойкого покрытия

На рисунке Б.3 представлено изображение инструмента с основными функциональными параметрами, а на рисунке Б.4 представлена 3D модель инструмента, выполненная в системе T-Flex CAD.

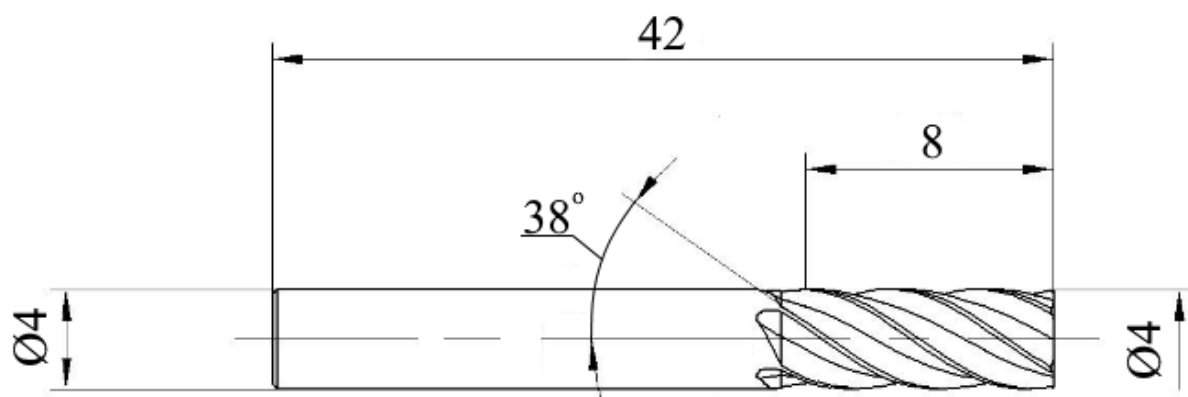


Рисунок Б.3 – Изображение инструмента с указанием основных параметров



Рисунок Б.4 – 3D модель концевой фрезы MITSUBISHI AN90J4R0804A4

В таблице Б.1 приведены технологические переходы, выполняемые данным режущим инструментом.

Таблица Б.1 – Технологические переходы

Содержание перехода	Скорость резания, м/мин	Глубина резания, мм	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Подача, мм/зуб
Фрезеровать паз шириной 5 мм, длиной 24 мм на глубину 2,5 мм	75	1	6000	0,03

Обоснование назначения режимов резания.

Назначение скорости резания 75 м/мин обусловлено максимальной частотой вращения шпинделя станка 6000 мин<sup>-1</sup>.

Глубина резания 1 мм назначена исходя из рекомендаций производителя.

Подача 0,03 мм/зуб назначена по номограмме производителя для обрабатываемого материала.

Для закрепления фрезы используется патрон цанговый ZEGYO SK40-ER32-070-AD с цангой ZEGYO ER32-3-4-Class I.



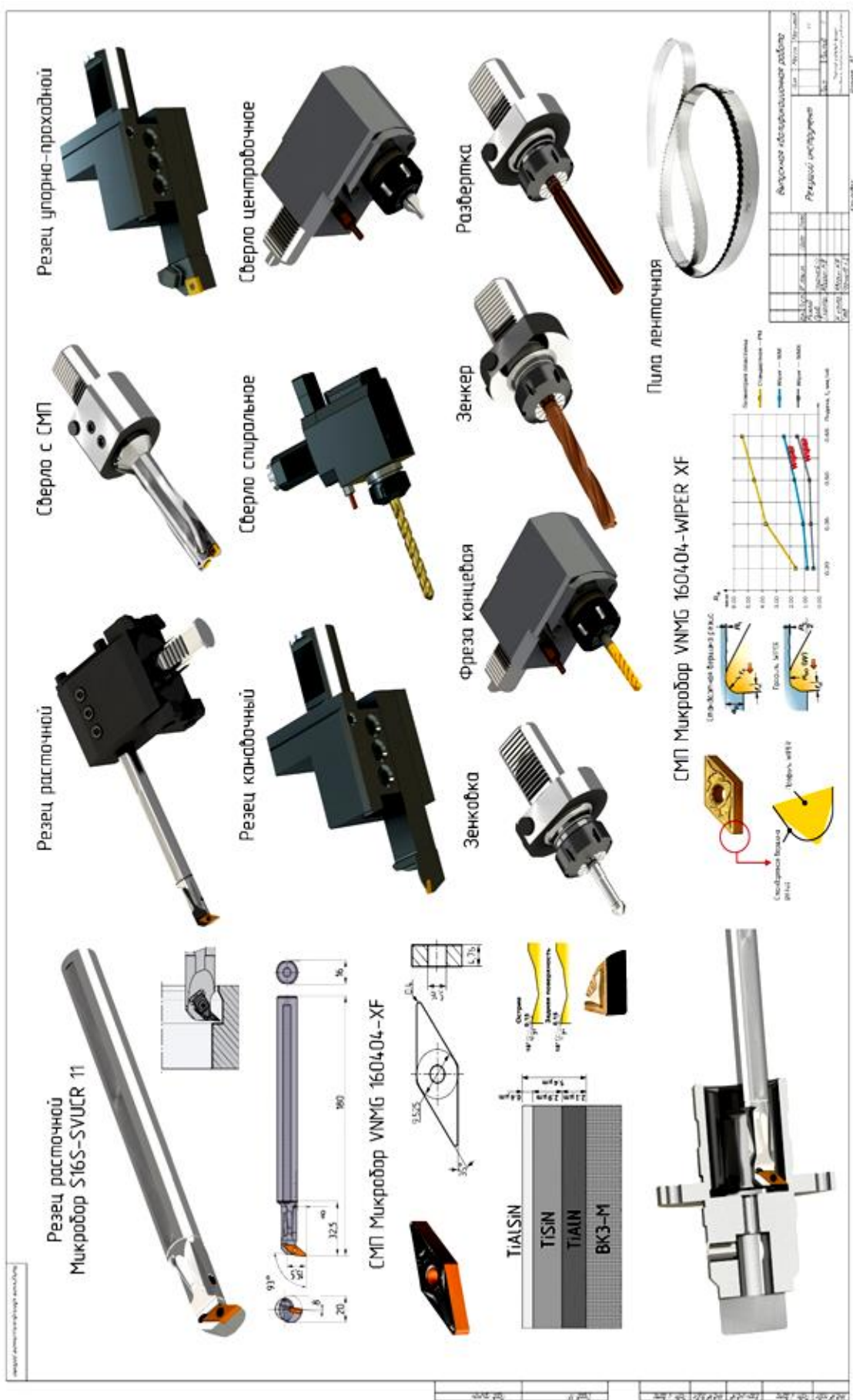


Рисунок В.2 – Пример выполнения графической части курсового проекта. Обрабатываемая деталь – тело вращения

## Приложение Г

Основные формулы для точения и фрезерования.

Скорость резания, м/с

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000},$$

где  $d$  – обрабатываемый диаметр (или диаметр резания фрезой), мм;

$n$  – скорость вращения шпинделя, мин<sup>-1</sup>.

Скорость вращения шпинделя, мин<sup>-1</sup>

$$n = \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot d}.$$

Средняя толщина стружки при точении, мм

$$h = f \cdot \sin \varphi,$$

где  $\varphi$  – главный угол в плане;

$f$  – подача, мм/об.

Удельная сила резания, Н/мм<sup>2</sup>

$$k = k_1 \cdot \left(\frac{1}{h}\right)^m \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right),$$

где  $k_1$  – коэффициент удельной силы резания, Н/мм<sup>2</sup>;

$h$  – средняя толщина стружки, мм;

$m$  – коэффициент увеличения удельной силы резания (безразмерная величина);

$\gamma_0$  – эффективный передний угол, град.

Минутная подача при фрезеровании, мм/мин

$$f_{\text{мин}} = f_z \cdot n \cdot z,$$

где  $f_z$  – подача на зуб, мм;

$z$  – число зубьев фрезы.

Потребляемая мощность при точении, кВт

$$P = \frac{v \cdot a \cdot f \cdot k}{60000},$$

где  $a$  – глубина резания, мм.

Потребляемая мощность при фрезеровании, кВт

$$P = \frac{B \cdot a \cdot f_{\text{мин}} \cdot k}{60000000},$$

где  $B$  – ширина фрезерования, мм.

Подача при черновом точении назначается максимально возможной, исходя из прочностных характеристик инструмента, жесткости станка и мощности двигателя главного движения. Подача при чистовом точении назначается исходя из требуемой шероховатости обработанной поверхности. Теоретическая шероховатость при точении, мкм

$$Ra = \frac{f \cdot \sin(\varphi + \varphi_1)}{\sin(\varphi) \cdot \sin(\varphi_1)},$$

где  $\varphi$  – главный угол в плане, °;

$\varphi_1$  – вспомогательный угол в плане, °.

Подача при черновом фрезеровании назначается аналогично подаче при черновом точении. Назначенную подачу при чистовом фрезеровании с целью достижения требуемой шероховатости обработанной поверхности проверяют по формуле

$$S = 0,06\sqrt{d \cdot Rz},$$

где  $S$  – подача, мм/об;

$d$  – диаметр фрезы, мм;

$Rz$  – шероховатость поверхности, мкм.

Как правило, каталоги производителей содержат информацию о допустимом для инструмента диапазоне подач. Назначенная подача должна находиться внутри данного диапазона. В случае отсутствия данных в каталоге производителя, необходимо использовать информацию из справочников.



## Приложение Д

Таблица Д.1 – Соответствие отечественных марок твёрдых сплавов группам применения по ISO

Группа применения по ISO	Обозначение сплава(-ов) по ГОСТ 3882–74	Вид обработки
P01	T30K4	Чистовое точение, растачивание, развёртывание
P10	T15K6	Точение, нарезание резьбы, развёртывание, фрезерование, рассверливание
P20	T14K8	Точение, фрезерование, чистовое строгание
P25	TT20K9	Фрезерование
P30	T5K10, TT10K8-Б	Черновое точение, фрезерование, строгание
P40	TT7K12	Черновое точение, строгание
P50	TT7K12	Точение, строгание, долбление при особо высоких требованиях к прочности твёрдого сплава в связи с неблагоприятными условиями резания
M05	BK6-OM	Чистовое точение, растачивание, развёртывание
M10	BK6-M, TT8K6	Точение и фрезерование
M20	TT10K8-Б	Точение и фрезерование
M30	TT10K8-Б, BK10-XOM	Точение, фрезерование, строгание в неблагоприятных условиях
M40	BK8, TT7K12	Точение, отрезка
K01	BK3, BK3-M	Чистовое точение, растачивание, фрезерование
K05	BK6-OM	Чистовое и получистовое точение, растачивание, развёртывание, нарезание резьбы
K10	BK6-M, TT8K6	Точение, растачивание, фрезерование, сверление
K20	BK6	Точение, строгание, фрезерование, сверление
K30	BK8	Точение, строгание, фрезерование, сверление. Работа в неблагоприятных условиях
K40	BK8	Точение, фрезерование, строгание. Инструмент с большим передним углом

Под неблагоприятными условиями понимается резание с переменной глубиной, прерывистой подачей, с ударами, вибрациями, наличием у обрабатываемой заготовки литой корки и абразивных включений.

Аналогичные группы применения предусмотрены для материалов N (01 – 30), S (01 – 30) и H (01 – 30). Вместе с тем, соответствующие данным группам отечественные твёрдые сплавы в стандартах не приводятся.

Учебное издание

**Аверин Николай Витальевич,  
Татарников Николай Николаевич**

## **РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ**

Методические указания по выполнению курсового проекта

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Тираж 5 экз.  
Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета  
390000, г. Рязань, ул. Право-Лыбедская, 26/53