

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ
ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Методические указания к лабораторным работам
для студентов высшего
образования второй ступени по специальности
1-36 80 02 «Инновационные технологии в машиностроении»

Витебск
2020

Составитель:

Н. В. Беляков

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 2 от 28.02.2020.

Современные тенденции развития оборудования и инструмента для изготовления деталей машин : методические указания к лабораторным работам / сост. Н. В. Беляков. – Витебск : УО «ВГТУ», 2020. – 68 с.

Приводятся методические указания по выбору современного инструмента мировых лидеров в области их производства, необходимого для обработки конструктивных элементов заготовок; определению и сравнительному анализу режимов резания и машинного времени при точении и фрезеровании различными инструментами; выбору необходимых для решения производственных задач токарных и фрезерных обрабатывающих центров; проектированию операций обработки заготовок деталей классов «тела вращения» и «корпусы» на современных обрабатывающих центрах. Описано содержание и форма представления результатов в отчётах.

УДК 67.05

© УО «ВГТУ», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Выбор инструмента, необходимого для обработки конструктивных элементов заготовок	5
2 Определение и сравнительный анализ режимов резания и машинного времени при точении и фрезеровании конструктивных элементов заготовок	13
3 Выбор необходимого для решения производственной задачи станочного оборудования	29
4 Проектирование операций обработки заготовок деталей классов «тела вращения» и «корпуса» на современных обрабатывающих центрах	49
Список использованных источников	51
Приложение А. Классификатор переходов механической обработки	54
Приложение Б. Классификатор поверхностей	58
Приложение В. Соответствие кодов поверхностей и переходов	63

ВВЕДЕНИЕ

Тенденцией развития современного станкостроения и производства инструментов является стремление к возможно более высокой производительности и надёжности при условии обеспечения необходимой и достаточной точности размеров, высокого качества обработанной поверхности, соблюдения норм безопасности труда, экологических, эргономических требований, а также требований к дизайну. Указанная тенденция реализуется путём использования различных технических решений для конструирования перспективного металлорежущего оборудования, а также инноваций в области инструментальных материалов, конструирования и производства инструмента.

Дисциплина «Современные тенденции развития оборудования и инструмента для изготовления деталей машин» является важной частью подготовки магистра направленной на приобретение знаний о современных технологиях машиностроения.

В результате проведения лабораторных работ по дисциплине магистрант должен уметь: выбирать современное оборудование и инструмент для проектирования технологических процессов обеспечивающих высокую производительность, необходимую и достаточную точность размеров и качество обработанной поверхности; проектировать операции механической обработки заготовок на современных многоцелевых обрабатывающих центрах; проводить сравнительный анализ режимов резания и основного времени при обработке инструментами с различными материалами режущей части; иметь представление о современных отечественных и мировых лидерах в области производства металлорежущего оборудования и инструмента; организаторах, местах проведения и особенностях регулярных выставок в области металлообработки.

1 ВЫБОР ИНСТРУМЕНТА, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАГОТОВОК

Цель работы: приобретение опыта анализа каталогов ведущих мировых производителей инструмента с целью выбора необходимого инструмента для обработки элементов конструкций.

Задачи магистранта:

- ознакомиться с местами проведения и особенностями регулярных международных выставок по металлообработке;
- изучить информацию о ведущих мировых компаниях-производителях режущего инструмента и их продукцию;
- по заданным вариантам определить возможные переходы обработки и проиллюстрировать возможные схемы формообразования конструктивных элементов;
- для выбранных переходов обработки и схем формообразования по каталогам фирм-производителей инструмента выбрать типоразмеры инструментов с различными материалами режущих частей и покрытиями для обработки указанных конструктивных элементов десяти компаний;
- привести иллюстрации инструментов, описание особенностей геометрии, характеристики и сравнительный анализ.

Крупнейшими регулярными выставками в области обработки металлов являются:

- *Европа* (Металлообработка, (Беларусь, г. Минск); HANNOVER MESSE (Германия, г. Ганновер); ЕМО HANNOVER (Германия, г. Ганновер, Италия, г. Милан, Франция, г. Париж); GIFA, METEC, THERMPROCESS, NEWCAST (Германия, г. Дюссельдорф); MSV (Чехия, г. Брно); AMB Stuttgart (Германия, г. Штутгарт); METAV (Германия, г. Дюссельдорф); MadeinSteel (Италия, г. Милан); WIN EURASIA (Турция, г. Стамбул); СТАНКОСТРОЕНИЕ (Россия, г. Москва); Металл-Экспо (Россия, г. Москва); Технофорум (Россия, г. Москва); МІТЕХ (Россия, г. Москва); РОСМОЛД (Россия, г. Москва); ПРОМ-VOLGA. (Россия, г. Волгоград); Металлообработка (Россия, г. Москва); HI-TECH (Россия, г. Санкт-Петербург));
- *Северная Америка* (CMTS (Канада, г. Торонто); FABTECH International (США); IMTS (США, г. Чикаго));
- *Южная Америка* (EXPO MANUFACTURA (Мексика, г. Монтеррей));
- *Африка* (Metal&Steel (Египет, Каир));
- *Азия* (JIMTOF (Япония, г. Токио); TIMTOS (Тайвань, г. Тайпей); VietnamExpo (Вьетнам, г. Ханой); IMTEX FORMING&Tooltech (Индия, г. Бангалор); MTA-MetalAsia; METALEX (Таиланд, г. Бангкок); KoreaMetalWeek (Корея, г. Сеул); BUTECH (Корея, г. Пусан); CIIF (Китай, г. Шанхай); MWCS (Китай, г. Шанхай); METAL + METALLURGY CHINA (Китай, г. Шанхай); CIMT (Китай, г. Пекин); JIMEX (Иордания, г. Амман); Дамасская международная ярмарка (Сирия, г. Дамаск); STEELFAB (ОАЭ, г. Шарджа); GulfIndustryFair (Бахрейн, г. Манама)) [1–3 и др.].

В Республике Беларусь крупнейшей выставкой в области металлообработки является Международная выставка «Металлообработка» проводимая ЗАО «Минскэкспо» с 1993 года в г. Минск. Традиционно на выставке проводится по адресу: пр-т. Победителей, 20/2, Футбольный манеж (рис. 1.1). На ней демонстрируются последние достижения в области станкостроения и производства металлорежущего и абразивного инструмента: автоматические линии и металлообрабатывающие станки с ЧПУ на базе промышленных ПК; модульные и моноблочные устройства ЧПУ; программное обеспечение для станков с ЧПУ, 3D-проектирования деталей и пресс-форм, обмера и прототипирования деталей; электроэрозионные, ленточноотрезные, зубообрабатывающие, токарные, сверлильные, фрезерные, долбежные, шлифовальные, протяжные и другие станки; компоненты станков, гидро- и пневмоаппаратура, сервоприводы; абразивный и режущий инструмент, в том числе алмазный и на основе кубического нитрида бора, инструментальная оснастка и многое другое.

Тематика выставки: металлорежущее оборудование; кузнечно-прессовое оборудование; литейное оборудование; оборудование для термообработки и нанесения покрытий; металлорежущий и абразивный инструмент; комплектующие узлы и изделия, технологическая оснастка, эксплуатационные материалы; электропривод, гидравлическое и пневматическое оборудование и их компоненты; контрольно-измерительное оборудование, приборы и инструмент; средства и элементы автоматизации металлообрабатывающего оборудования, в том числе инструментальные магазины, накопители, транспортно-загрузочные устройства, промышленные роботы; автоматизированные системы проектирования и управления производством, программное обеспечение; ремонт и модернизация технологического оборудования, запасные части и услуги; научно-технические проекты, конструкторские и технологические разработки; научно-техническая литература и информация; инвестиционные проекты; сбор и комплексная переработка лома чёрных и цветных металлов [3].

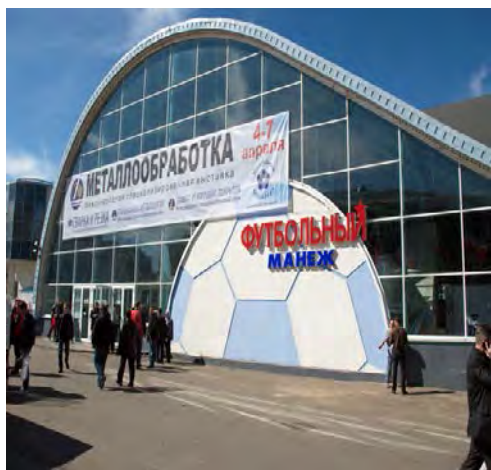


Рисунок 1.1 – Павильоны выставки «Металлообработка» (г. Минск)

Современными отечественными и мировыми лидерами в области производства лезвийного и абразивного инструмента являются: **Республика Беларусь**

(Минский инструментальный завод, Оршанский инструментальный завод); **Российская Федерация** (Белгородский абразивный завод, Челябинский инструментальный завод, Днепровский завод специнструмента, Ижевский инструментальный завод, Иршавский абразивный завод, ИТО-Туламаш, Лужский абразивный завод, Московский инструментальный завод, Петербургский абразивный завод и др.); **Германия** (CeramTec, DaksTools, Dummel, Emuge-Franken, F-Britsch, Guhring, HAHNREITER, Hobe GmbH, Hoffmann, ILIX, JohannesBoss, JD-Tools, KarnaschProfessionalTools, KONRAD FRIEDRICH, Re-Bo REBER, REIME NORIS, Rohm, RUKO, SCHUNK, SPPW, STOCK, TBT Tiefbohrtechnik, Walter, Vogel, Volkel, Werkö, WIDIA, WNT, Wurth, Zecha); **Германия и Южная Корея** (IBERCUT); **Великобритания** (Renishaw); **Швейцария** (ALESА, Denitool, REGO-FIX, SphinxTools, Swiss Tool, Stellram, Sylvac, TESA); **Испания** (EUSKRON, CANELA, Helion Tools, Izar, KENDU, Kintek, Madaula); **Италия** (HTT, Silmax, Vergnano); **Швеция** (MIRCONA, Sandvik Coromant, SECO); **Дания и Швеция** (SmiCut); **Люксембург** (Ceratizit); **Польша** (Fanar); **Португалия** (MEF.TOOLS); **Франция** (Tivoly); **США** (DataFlute, DorianTool, Drill Masters-Eldorado Tool, Gagemaker, IMCO, K-Tool, Kyocera, Mastercut Tool, Micro 100, PrecisionCuttingTools, RobbJack, ScientificCuttingTools, SGS, SterlingGunDrills, YG-1 Tool Co); **США и Великобритания** (Carbology, Ceratizit, NTK Cutting Tools); **США и Канада** (Kennametal); **Бразилия** (Hanna Tools); **Израиль** (Erojet, Iscar, VARGUS); **Турция** (AKKO, Eroglu); **Китай** (DIJET); **Южная Корея** (KORLOY); **Тайвань** (RBH); **Япония** (Hitachi Tool, Kitagawa, Mitutoyo, NT TOOL, NSTOOL, Sumitomo, TANOI MFG) [4–6].

Так компания Seco является одним из крупнейших поставщиков комплексных решений для металлообработки. Компания производит инструмент для фрезерования, токарной обработки, обработки отверстий и вспомогательный инструмент [7]. Штаб-квартира компании находится в г. Фагерста, Швеция (рис. 1.2).

История Seco начинается с небольшого предприятия Fagersta Bruks, ведущего свою историю с начала 17 века. Предприятие выпускало стальную проволоку, стальные трубы, винтовочные стволы и рессоры для железнодорожных вагонов, а с 1932 запустило производство изделий из твердого сплава. Постепенно предприятие выпускало все больше новых режущих инструментов. Один из сплавов был назван Seco, что на латыни означает «Я режу», это название впоследствии дало имя отдельному подразделению в преобразованной группе компаний.

В 50-е и 60-е годы группа Fagersta осуществляла большие инвестиции в области производства твердого сплава. Группа приобрела несколько фирм-производителей, став одним из трех крупнейших европейских производителей карбида вольфрама. Было освоено несколько новых изделий, включая ставшие позднее основным профилем фирмы сменные механические пластины.

В те годы увидел свет революционный сплав S25M и первые сменные пластины с покрытием. В 80-е и 90-е годы компания Seco быстро расширялась и открыла несколько филиалов за пределами Швеции.



Рисунок 1.2 – Штаб-квартира фирмы Seco

Сегодня Seco объединяет более 4100 сотрудников в своих представительствах в более чем 75 странах мира. Компания Seco является частью финансово-промышленной группы Sandvik, подразделение Sandvik Machining Solutions [7].

Для определения возможных переходов обработки конструктивных элементов предлагается использовать таблицу соответствия кода конструктивного элемента кодам переходов [8–10]. Переходы группируются в следующие классы: 01 – токарные; 02 – расточные; 03 – сверлильные; 04 – фрезерные; 05 – строгально-долбежные; 06 – протяжные; 07 – шлифовальные; 08 – отделочные; 09 – ППД; 10 – резьбообрабатывающие; 11 – зубо- и шлицеобрабатывающие; 12 – контрольные; 13 – прочие. Внутри каждого класса выделяются виды переходов по следующим признакам:

- 1) вид инструмента;
- 2) вид обрабатываемой поверхности;
- 3) характеристика относительного движения. Не в каждом классе выделение видов переходов требует применения всех указанных признаков. В таблице 1.1 показан фрагмент классификатора (приложение А) элементарных переходов и их трехзначные коды.

Согласно классификатору типовых поверхностей (рис. Б.1–Б.5 приложения Б) формируется (с учётом класса формы детали) шестизначный код поверхности. Выделяется только 3 класса форм детали:

- 1) тела вращения ($D = 1$);
- 2) корпусные детали ($D = 2$);
- 3) рычаги ($D = 3$).

Значение D будет первой цифрой кода. Затем формируется код класса (1 – поверхности вращения; 2 – плоские поверхности; 3 – винтовые поверхности; 4 – зубчатые поверхности). После этого выбираются коды подкласса, группы, вида и типа обрабатываемой поверхности.

Таблица 1.1 – Классификатор переходов механической обработки

№	Наименование переходов
	токарные (в операциях: <i>токарно-револьверная; токарно-карусельная; токарно-копировальная; токарная с ЧПУ; токарно-винторезная; токарно-автоматная</i>)
001	обтачивание продольное
002	обтачивание поперечное (канавок, уступов, фасонное)
003	расточивание продольное
004	расточивание поперечное (канавок, уступов, фасонное)
005	подрезание торца
006	обтачивание программное
007	расточивание программное
...	...

Например, требуется обработать открытое цилиндрическое отверстие по 7-му качеству точности диаметром $42^{+0.025}$ мм, длиной 30 мм, с $Ra = 1,25$ мкм в детали твёрдостью $HRC = 28...30$, относящейся классу тел. Заготовка получена на горизонтальноковочной машине. Тогда согласно рисунку В.1 приложения В код обрабатываемой поверхности будет 111212.

С помощью таблицы соответствия (приложение В), фрагмент которой приведен в таблице 1.2, выбираются коды переходов, соответствующие сформированному коду обрабатываемой поверхности.

Таблица 1.2 – Фрагмент таблицы соответствия кода конструктивного элемента кодам переходов

№	Код поверхности	Коды (номера) переходов
1	2	3
1	111111	005; 043; 044; 045; 046; 061;
2	111121	005; 039; 040;
3	111122	005; 017;
4	111132	005;
5	111211	001; 002; 039; 040; 041; 042; 049; 051; 053; 054; 057; 061; 064; 065;
6	111221	001; 002; 039; 040; 041; 049; 051; 053; 054; 057; 061; 064; 065;
7	111231	01; 02; 39; 41; 61; 64; 65;
8	111212	003; 013; 014; 015; 016; 019; 020; 034; 037; 043; 044; 049; 052; 055; 058; 060; 062; 063; 066; 067

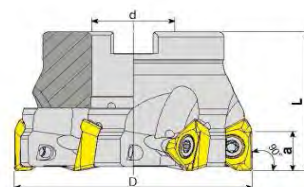
Для рассматриваемого примера это будут следующие коды: 003 (расточивание продольное); 013 (сверление, которое отбрасывается, так как у заготовки

уже сформировано отверстие); 014 (рассверливание); 015 (зенкерование); 016 (развёртывание); 019 (глубокое сверление, которое сразу отбрасывается, так как длина отверстия меньше его диаметра); 020 (зацентровка, которая отбрасывается, так как отверстие в заготовке уже есть); 034 (круглое протягивание); 037 (круглое прошивание); 043 (круглое внутреннее врезное шлифование); 044 (круглое внутреннее продольное шлифование); 049 (круглое глубинное шлифование); 052 (хонингование); 055 (доводка полноконтактная круглая внутренняя); 058 (полирование эластичным кругом внутреннее); 060 (полирование шкуркой); 062 (выглаживание круглое внутреннее); 063 (дорнирование); 066 (раскатывание круглое шариком); 067 (раскатывание круглое роликом).

В современном машиностроении нашли применение инструменты сборных конструкций, комбинированный инструмент, инструменты для совместной обработки резанием и деформированием, инструменты для вибрационной обработки резанием, монолитные мелкоразмерные твердосплавные инструменты. Широко распространены: модульный принцип построения инструмента (многогранные твердосплавные и керамические пластины, пластины, оснащенные СТМ, резцовые вставки, микроборы и др.), инструменты с многогранными пластинами с различными формами передних и задних поверхностей, стружечных канавок, каналами для подвода СОЖ [4–15].

К современным материалам для изготовления режущего инструмента относятся: инструментальные стали, твердые сплавы (вольфрамо-кобальтовые, титано-вольфрамовые, титанотанталовольфрамовые, керметы, ультрамелкозернистые), сверхтвердые материалы (на основе алмаза, на основе кубического нитрида бора), режущая керамика (оксидно-карбидная, оксидная белая, нитридная, нитридная с покрытием, сиалон, вискерованная, оксидная с покрытием), армированная керамика. В производстве обрабатывающего инструмента находят применение нано-технологии, а также технологии покрытий на основе нитрида титана, карбида титана, нитрида молибдена, окиси алюминия. К методам нанесения покрытий на инструменты относятся: химическое осаждение покрытий из газовой фазы – Chemical Vapour Deposition (CVD), физическое осаждение покрытий в вакууме – Physical Vapour Deposition (PVD). К разновидности метода CVD относятся HT-CVD, MT-CVD, PA-CVD методы, а к разновидности метода PVD относятся: электронно-лучевое испарение, вакуумно-дуговое испарение, магнетронное распыление [11–15].

Все производители инструмента представляют каталоги продукции в электронном виде на сайтах компаний [4–7, 16–18 и др.] или в печатном виде в офисах представительств и на выставках по металлообработке (рис. 1.3–1.4). Также на многих сайтах компаний производителей инструмента имеются интерактивные каталоги, с помощью которых можно по заданным условиям подобрать все возможные типоразмеры инструментов (рис. 1.5).



Takım Kodu Ordering Code	Stok Stock	Takım Ölçüleri (mm) Dimension (mm)					Kesici Uç Insert	Yedek Parçaları Spare Parts		
		D	Z	d	L	a		Sıkma Vidası Screw	Tork Anahtar Torx Key	Montaj Vidası Mounting Screw
AFM90-3P1004-D040-A16-Z05-H	●	40	5	16	40	7	3PKT 1004..	1108-M2.5x6	80-T08	2506-M8x30
AFM90-3P1004-D050-A22-Z06-H	●	50	6	22	40	7				
AFM90-3P1505-D050-A22-Z04-H	●	50	4	22	40	11	3PKT 1505..	1115-M4x10	80-T15	2508-M10x30
AFM90-3P1505-D050-A22-Z05-H	●	50	5	22	40	11				
AFM90-3P1505-D063-A22-Z04-H	●	63	4	22	40	11				
AFM90-3P1505-D063-A22-Z06-H	●	63	6	22	40	11				

R: Sağ/Right L: Sol/Left ● Stokta/In Stock ○ Stokta Yok/Non Stock Item
TGTC Ucuna Uygundur. / Compatible with TGTC Insert.

Sipariş Örneği/Ordering Example : 1 ad./pcs. AFM90-X012-D040-A16-Z05-H
Kesme Hesabı : S 271 / Cutting Calculation : P 271
Montaj Ölçüleri : S 269 / Mounting Reference : P 269



Рисунок 1.3 – Фрагменты каталога инструментов фирмы АККО

Отраслевые решения

Наши услуги

Online Support

My Pages

Фрезы для фрезерования уступов и пазов

Turbo 06 – R217.89-06

Оптимизировано для контурной обработки

• Для подборки пластины и рекомендаций по режимам резания см. стр. 22-23
• Информацию по пластинам см. на стр. 686
• Информацию по стандарту ISO см. на стр. 15

KAPRS 90°

Обозначение	Тип крепления	APXZ	APXZ	DC	DS	DAL	LS	MPZ	C min	C max	KG	Пластина		
R217.89-1010.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	10	10	55	38	10.0	14.5	19.0	2	0.1	60000	XO X06
R217.89-1212.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	12	12	60	40	10.5	15.5	20.0	3	0.2	54000	XO X06
R217.89-1515.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	15	15	65	42	11.0	16.5	21.0	4	0.3	54000	XO X06
R217.89-1818.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	18	18	70	45	11.5	17.5	22.0	5	0.4	48000	XO X06
R217.89-2020.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	20	20	75	48	12.0	18.5	23.0	6	0.5	48000	XO X06
R217.89-2525.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	25	25	85	55	13.0	20.5	25.0	8	0.8	48000	XO X06
R217.89-3030.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	30	30	95	60	14.0	22.5	27.0	10	1.0	48000	XO X06
R217.89-3535.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	35	35	105	65	15.0	24.5	29.0	12	1.2	48000	XO X06
R217.89-4040.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	40	40	115	70	16.0	26.5	31.0	14	1.5	48000	XO X06
R217.89-4545.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	45	45	125	75	17.0	28.5	33.0	16	1.8	48000	XO X06
R217.89-5050.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	50	50	135	80	18.0	30.5	35.0	18	2.0	48000	XO X06
R217.89-5555.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	55	55	145	85	19.0	32.5	37.0	20	2.2	48000	XO X06
R217.89-6060.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	60	60	155	90	20.0	34.5	39.0	22	2.5	48000	XO X06
R217.89-6565.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	65	65	165	95	21.0	36.5	41.0	24	2.8	48000	XO X06
R217.89-7070.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	70	70	175	100	22.0	38.5	43.0	26	3.0	48000	XO X06
R217.89-7575.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	75	75	185	105	23.0	40.5	45.0	28	3.2	48000	XO X06
R217.89-8080.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	80	80	195	110	24.0	42.5	47.0	30	3.5	48000	XO X06
R217.89-8585.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	85	85	205	115	25.0	44.5	49.0	32	3.8	48000	XO X06
R217.89-9090.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	90	90	215	120	26.0	46.5	51.0	34	4.0	48000	XO X06
R217.89-9595.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	95	95	225	125	27.0	48.5	53.0	36	4.2	48000	XO X06
R217.89-10010.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	100	100	235	130	28.0	50.5	55.0	38	4.5	48000	XO X06
R217.89-10515.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	105	105	245	135	29.0	52.5	57.0	40	4.8	48000	XO X06
R217.89-11020.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	110	110	255	140	30.0	54.5	59.0	42	5.0	48000	XO X06
R217.89-11525.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	115	115	265	145	31.0	56.5	61.0	44	5.2	48000	XO X06
R217.89-12030.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	120	120	275	150	32.0	58.5	63.0	46	5.5	48000	XO X06
R217.89-12535.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	125	125	285	155	33.0	60.5	65.0	48	5.8	48000	XO X06
R217.89-13040.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	130	130	295	160	34.0	62.5	67.0	50	6.0	48000	XO X06
R217.89-13545.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	135	135	305	165	35.0	64.5	69.0	52	6.2	48000	XO X06
R217.89-14050.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	140	140	315	170	36.0	66.5	71.0	54	6.5	48000	XO X06
R217.89-14555.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	145	145	325	175	37.0	68.5	73.0	56	6.8	48000	XO X06
R217.89-15060.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	150	150	335	180	38.0	70.5	75.0	58	7.0	48000	XO X06
R217.89-15565.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	155	155	345	185	39.0	72.5	77.0	60	7.2	48000	XO X06
R217.89-16070.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	160	160	355	190	40.0	74.5	79.0	62	7.5	48000	XO X06
R217.89-16575.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	165	165	365	195	41.0	76.5	81.0	64	7.8	48000	XO X06
R217.89-17080.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	170	170	375	200	42.0	78.5	83.0	66	8.0	48000	XO X06
R217.89-17585.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	175	175	385	205	43.0	80.5	85.0	68	8.2	48000	XO X06
R217.89-18090.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	180	180	395	210	44.0	82.5	87.0	70	8.5	48000	XO X06
R217.89-18595.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	185	185	405	215	45.0	84.5	89.0	72	8.8	48000	XO X06
R217.89-19100.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	190	190	415	220	46.0	86.5	91.0	74	9.0	48000	XO X06
R217.89-19605.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	195	195	425	225	47.0	88.5	93.0	76	9.2	48000	XO X06
R217.89-20110.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	200	200	435	230	48.0	90.5	95.0	78	9.5	48000	XO X06
R217.89-20615.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	205	205	445	235	49.0	92.5	97.0	80	9.8	48000	XO X06
R217.89-21120.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	210	210	455	240	50.0	94.5	99.0	82	10.0	48000	XO X06
R217.89-21625.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	215	215	465	245	51.0	96.5	101.0	84	10.2	48000	XO X06
R217.89-22130.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	220	220	475	250	52.0	98.5	103.0	86	10.5	48000	XO X06
R217.89-22635.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	225	225	485	255	53.0	100.5	105.0	88	10.8	48000	XO X06
R217.89-23140.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	230	230	495	260	54.0	102.5	107.0	90	11.0	48000	XO X06
R217.89-23645.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	235	235	505	265	55.0	104.5	109.0	92	11.2	48000	XO X06
R217.89-24150.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	240	240	515	270	56.0	106.5	111.0	94	11.5	48000	XO X06
R217.89-24655.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	245	245	525	275	57.0	108.5	113.0	96	11.8	48000	XO X06
R217.89-25160.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	250	250	535	280	58.0	110.5	115.0	98	12.0	48000	XO X06
R217.89-25665.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	255	255	545	285	59.0	112.5	117.0	100	12.2	48000	XO X06
R217.89-26170.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	260	260	555	290	60.0	114.5	119.0	102	12.5	48000	XO X06
R217.89-26675.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	265	265	565	295	61.0	116.5	121.0	104	12.8	48000	XO X06
R217.89-27180.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	270	270	575	300	62.0	118.5	123.0	106	13.0	48000	XO X06
R217.89-27685.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	275	275	585	305	63.0	120.5	125.0	108	13.2	48000	XO X06
R217.89-28190.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	280	280	595	310	64.0	122.5	127.0	110	13.5	48000	XO X06
R217.89-28695.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	285	285	605	315	65.0	124.5	129.0	112	13.8	48000	XO X06
R217.89-29200.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	290	290	615	320	66.0	126.5	131.0	114	14.0	48000	XO X06
R217.89-29705.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	295	295	625	325	67.0	128.5	133.0	116	14.2	48000	XO X06
R217.89-30210.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	300	300	635	330	68.0	130.5	135.0	118	14.5	48000	XO X06
R217.89-30715.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	305	305	645	335	69.0	132.5	137.0	120	14.8	48000	XO X06
R217.89-31220.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	310	310	655	340	70.0	134.5	139.0	122	15.0	48000	XO X06
R217.89-31725.0-06-0A0	Цилиндр	3.0	5.0	315	315	665								

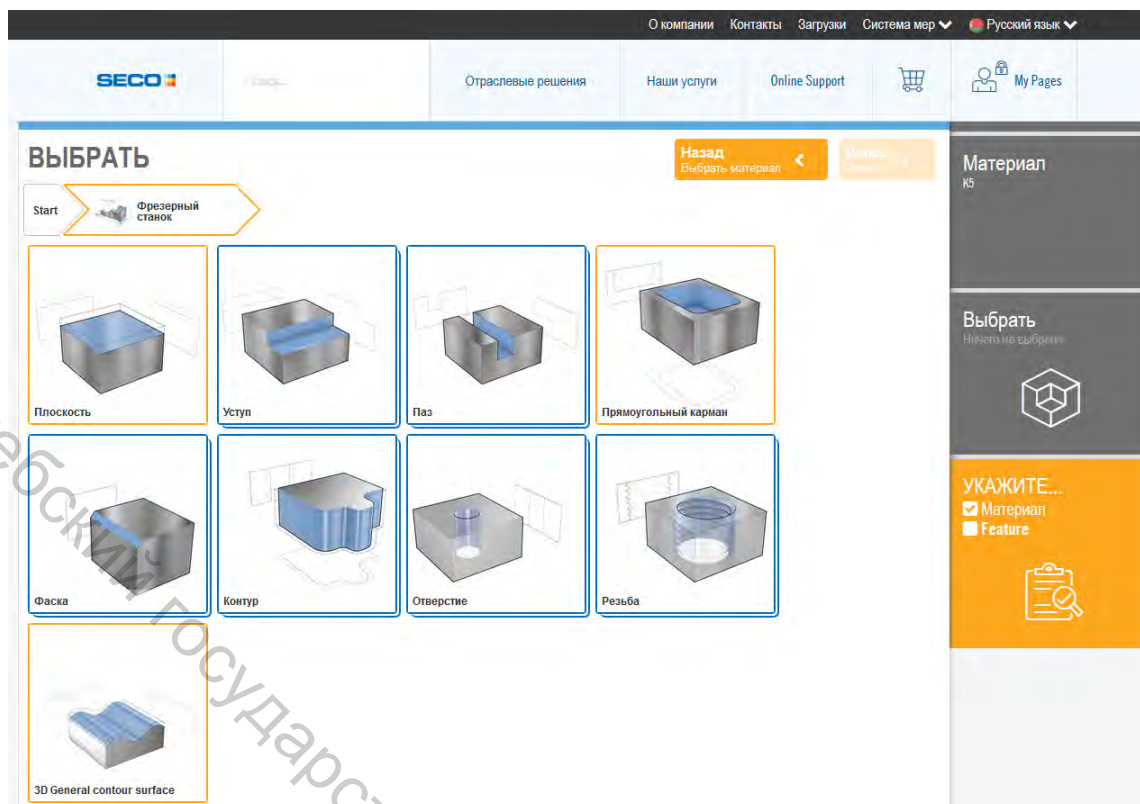


Рисунок 1.5 – Интерактивное приложение для выбора инструментов фирмы Seco

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите известные Вам крупнейшие регулярные выставки в области обработки металлов.
2. Назовите крупнейшую выставку в области металлообработки, проводимую в Республике Беларусь. Назовите место её проведения и тематику.
3. Перечислите известные Вам современные отечественные компании-производители лезвийного и абразивного инструмента.
4. Перечислите известные Вам современные зарубежные компании-производители лезвийного и абразивного инструмента.
5. Приведите алгоритм определения возможных переходов обработки конструктивных элементов.
6. Какие конструкции режущих инструментов нашли применение в современном машиностроении?
7. Охарактеризуйте модульный принцип построения инструмента.
8. Перечислите и охарактеризуйте известные Вам современные материалы для изготовления режущего инструмента.
9. Перечислите известные вам покрытия режущих инструментов. Для чего они применяются?
10. Какие методы нанесения покрытий на инструменты Вы знаете?

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И МАШИННОГО ВРЕМЕНИ ПРИ ТОЧЕНИИ И ФРЕЗЕРОВАНИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАГОТОВОК

Цель работы: приобретение опыта сравнительного анализа режимов резания и основного времени при точении и фрезеровании поверхностей заготовок из различных материалов инструментами с различными материалами режущей части ведущих компаний производителей инструмента.

Задачи магистранта:

- по материалам предыдущей работы выбрать переходы токарной и фрезерной обработки заданных конструктивных элементов;
- разработать схемы базирования и установки заготовок для обработки конструктивных элементов;
- для выбранных переходов токарной и фрезерной обработки конструктивных элементов (приложение А) по каталогам фирм-производителей инструмента или с помощью онлайн-калькуляторов выбрать режимы резания инструментами с различными материалами режущих частей и покрытиями десяти компаний;
- разработать модели затрат основного времени с изображением расчетных схем, а также рассчитать его по предложенным моделям для всех инструментальных материалов и материалов заготовок;
- построить сравнительные диаграммы режимов резания и основного времени обработки для различных компаний производителей инструментов и сделать выводы.

Показателями режима резания при точении являются:

1. Глубина резания t . Для проходов обтачивания она равна 1/2 разности диаметров перед и после обточки поверхности заготовки и вычисляется по формуле

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

где t – глубина резания; D – диаметр заготовки; d – заданный диаметр после прохода.

Для растачивания глубина резания равна 1/2 разности диаметров отверстия после прохода растачивания и диаметра отверстия в заготовке. Для переходов подрезки это размер слоя металла, удаляемого с торца заготовки за единственный проход резца, а при проточке и отрезке – глубина канавки.

2. Подача S мм/об. Подача – это длина пути при перемещении режущей кромки резца, совершаемом ей за единственный оборот шпинделя. Величина подачи зависит от значения t , габаритов и физических свойств обрабатываемой заготовки, мощности главного привода. При операции точения подача на токарном станке должна устанавливаться на максимально возможное число, но с

учетом технологических параметров станка и применяемого инструмента. При операциях по черновому точению она зависит от мощности главного привода и устойчивости детали. А при чистовом точении основным критерием является заданный класс шероховатости поверхности.

3. Частота вращения шпинделя n об/мин. В справочнике обычно задается скорость резания (суммарная траектория режущей кромки резца за единицу времени), v , м/мин. Частота вращения может быть найдена из выражения $n = 1000v / \pi D$, где D – диаметр обработки.

Показателями режима резания при фрезеровании являются:

1) глубина резания t . Глубина резания для всех видов фрез, кроме торцовых и шпоночных, измеряется в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы (у торцовых и шпоночных фрез глубина резания измеряется в направлении оси фрезы). Ширина фрезерования B , которая для всех фрез, кроме торцовых и шпоночных, измеряется в направлении оси фрезы, а торцовых и шпоночных соответствует ширине обрабатываемой плоскости;

2) скорость подачи S_m мм/мин. В справочниках обычно рекомендуются подачи S_z – на один зуб фрезы (при предварительной обработке) или S_o – на один оборот фрезы;

3) частота вращения шпинделя n об/мин. В справочнике обычно задается скорость резания v , м/мин.

Все виды подач при фрезеровании связаны между собой следующими выражениями $S_o = S_z \cdot Z$; $S_m = n \cdot S_o = n \cdot Z \cdot S_z$, где Z – число зубьев фрезы. Частота вращения фрезы может быть найдена из выражения $n = 1000v / \pi D$, где D – диаметр фрезы.

В каталогах продукции производителей инструментов, как правило, приводятся рекомендуемые режимы резания (рис. 2.1–2.3). Также на многих сайтах компаний производителей инструмента [4–7, 16–18 и др.] имеются интерактивные онлайн-калькуляторы режимов резания. Также разрабатываются специализированные программы по расчёту режимов резания (рис. 2.4).

Параметры режимов резания выбираются наибольшими из возможных.

В результате работы должны быть представлены сравнительные диаграммы режимов резания (шаблон представлен на рис. 2.5). По каждому конструктивному элементу и показателю режима резания их должно быть не менее шести (по количеству материалов заготовок по заданию).

Время точения металла (t_o – основное время) – самая затратная составляющая в суммарном времени изготовления единичного изделия. Поэтому от скорости выполнения этой технологической операции напрямую зависит экономическая эффективность использования оборудования.

Для расчета основного времени обработки конструктивного элемента необходимо разработать модель затрат основного времени. Для этого необходимо построить расчётные схемы для определения длины рабочего хода инструмента L_{px} , а также траектории движения инструмента с учетом распределения припуска и количества проходов.

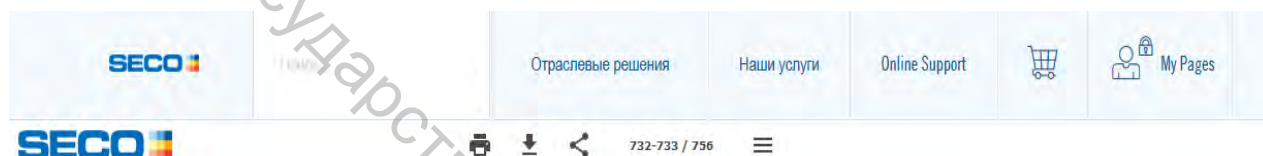
Так на основании принятых показателей режима резания и определения длины рабочего хода можно определить затраты основного времени t_o на операцию

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_m} N,$$

где L_{px} – длина рабочего хода; S_m – минутная подача; N – число повторений рабочего хода (часто совпадает с числом проходов).

$$L_{px} = L_v + L + L_n,$$

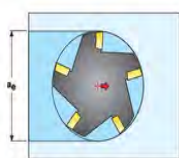
где L_v – длина врезания; L – длина участка, на котором происходит формообразование (часто совпадает с длиной заготовки); L_n – длина перебега (принимается 2–3 мм или может отсутствовать вовсе).



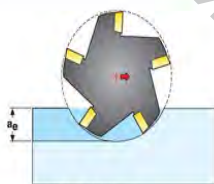
IK

Расчет режимов резания

Обработка паза по сравнению с боковым фрезерованием



Фрезерование паза



Боковое фрезерование

Относительный контакт диаметра фрезы ($a_p/DC\%$)	Умножить подачу на зуб на следующий коэффициент
30%	1.25
20%	1.5
10%	2.0
5%	3.0

Расчет подачи на зуб и скорости резания при боковом фрезеровании

При использовании бокового фрезерования необходимо увеличить подачу на зуб и сократить толщину стружки на постоянном уровне. Также возможно увеличить скорость резания, это не повлияет на стойкость инструмента. См. таблицы ниже.

Таблица актуальна для фрез с углом режущей кромки = 90°

a _p /DC %	Подача на зуб, мм/зуб (f _z)											Коэффициент скорости		
	0.03	0.06	0.08	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60		0.80	1.00
	Средняя толщина стружки, мм/зуб (mm)													
Ширина обработки до DC2 включительно														
2 (0.02)					0.02	0.03	0.04	0.04	0.06	0.07	0.08	0.11	0.14	1.8
3 (0.03)					0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.10	0.14	1.7
5 (0.05)				0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13	0.18	1.6
10 (0.10)			0.02	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.09	0.12	0.16	0.19	0.25	1.5
15 (0.15)	0.011	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.09	0.11	0.15	0.19	0.23	0.30		1.4
20 (0.20)	0.013	0.03	0.03	0.04	0.06	0.09	0.11	0.15	0.19	0.23	0.29	0.36		1.4
30 (0.30)	0.016	0.03	0.04	0.05	0.06	0.10	0.13	0.16	0.21	0.26	0.31			1.3
40 (0.40)	0.018	0.04	0.05	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.23	0.29				1.25
50 (0.50)	0.02	0.04	0.05	0.06	0.10	0.13	0.16	0.19	0.25	0.32				1.2
Обработка паза (Ширина обработки = DC)														
100 (1.00)	0.02	0.04	0.05	0.06	0.10	0.13	0.16	0.19	0.25	0.32				1.0

Расчет режимов резания

Таблица актуальна для фрез с углом режущей кромки = 45°

a _p /DC %	Подача на зуб, мм/зуб (f _z)											Коэффициент скорости			
	0.03	0.06	0.08	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60		0.80	1.00	
	Средняя толщина стружки, мм/зуб (mm)														
Ширина обработки до DC2 включительно															
2 (0.02)						0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	1.8
3 (0.03)						0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.10	1.7
5 (0.05)					0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	0.13	1.6
10 (0.10)				0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.18	1.5
15 (0.15)	0.008	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.11	0.13	0.16	0.21			1.4
20 (0.20)	0.009	0.02	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.09	0.12	0.15	0.18				1.35
30 (0.30)	0.011	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.15	0.18	0.22				1.3
40 (0.40)	0.012	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.17	0.21					1.25
50 (0.50)	0.01	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.14	0.18	0.23					1.2
Торцевая обработка, полный контакт (Ширина обработки = DC)															
100 (1.00)	0.02	0.04	0.05	0.06	0.10	0.13	0.16	0.19	0.25	0.32					1.0

Расчет подачи на зуб и скорости резания при боковом фрезеровании

При использовании бокового фрезерования необходимо увеличить подачу на зуб и сократить толщину стружки на постоянном уровне. Также возможно увеличить скорость резания, это не повлияет на стойкость инструмента. См. таблицы ниже.

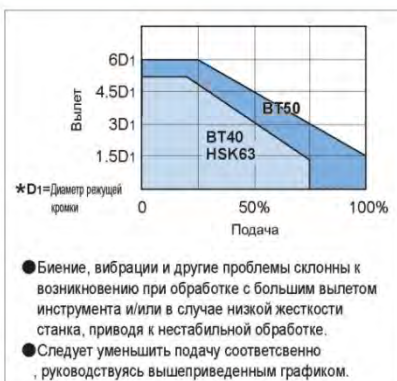
Таблица для фрез с углом режущей кромки = 60°

a _p /DC %	Подача на зуб, мм/зуб (f _z)											Коэффициент сверлов				
	0,03	0,06	0,08	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60		0,80	1,00		
	Средняя толщина стружки, мм/зуб (h _m)															
Ширина обработки до DC2 включительно																
2 (0,02)						0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,10	0,12	1,8	
3 (0,03)					0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,06	0,07	0,08	0,12	1,5	1,7
5 (0,05)				0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,10	0,12	0,15	0,19	1,6	
10 (0,10)				0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,11	0,13	0,16	0,22	0,27	1,5
15 (0,15)	0,010	0,02	0,03	0,03	0,05	0,07	0,08	0,10	0,13	0,16	0,20	0,26				1,4
20 (0,20)	0,011	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	0,09	0,11	0,15	0,19	0,22					1,35
30 (0,30)	0,013	0,03	0,04	0,04	0,07	0,08	0,11	0,13	0,18	0,22	0,27					1,3
40 (0,40)	0,015	0,03	0,04	0,05	0,08	0,10	0,13	0,15	0,20	0,25						1,25
50 (0,50)	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,11	0,14	0,17	0,22	0,28						1,2
Торцевая обработка, полный контакт (Ширина обработки = DC)																
100 (1,00)	0,02	0,04	0,05	0,06	0,10	0,13	0,16	0,19	0,25	0,32						1,0

Рисунок 2.1 – Фрагмент каталога фирмы Seco с элементами режимов резания

ВРАЩАЮЩИЙСЯ ИНСТРУМЕНТ

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ



РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ УСТУПОВ

Обрабатываемый материал	Твердость	Материал	Скорость резания (м/мин)	φ16, φ17			φ20, φ21		
				Глубина резания (мм)	Ширина резания (мм)	Подача (мм/об)	Глубина резания (мм)	Ширина резания (мм)	Подача (мм/об)
P	Малоуглеродистые стали	VP15TF	180 (150–220)	–4.5	–8	0.25	–6	–10	0.30
				4.5–12	–5	0.16	6–14	–7	0.25
				12–17	–3	0.10	14–22	–4	0.18
M	Углеродистая сталь Легированная сталь	VP15TF	160 (120–200)	–4.5	–8	0.20	–6	–10	0.25
				4.5–12	–4	0.14	6–14	–6	0.20
				12–17	–2	0.08	14–22	–3	0.16
K	Нержавеющая сталь	VP30RT (VP15TF)	150 (120–180)	–4.5	–8	0.20	–6	–10	0.25
				4.5–12	–4	0.14	6–14	–6	0.20
				12–17	–2	0.08	14–22	–3	0.16
K	Чугун	VP15TF	180 (150–220)	–4.5	–8	0.25	–6	–10	0.30
				4.5–12	–5	0.16	6–14	–7	0.25
				12–17	–3	0.10	14–22	–4	0.18
N	Алюминиевые сплавы	HT10 (G1 Стружколом)	500 (200–800)	–4.5	–11	0.30	–6	–14	0.35
				4.5–12	–8	0.21	6–14	–10	0.30
				12–17	–5	0.15	14–22	–6	0.23
H	Закалённая сталь	VP15TF	80 (50–120)	–4.5	–5	0.16	–6	–6	0.20
				4.5–12	–3	0.10	6–14	–4	0.16
				12–17	–1	0.06	14–22	–2	0.12

(Примечание 1) Следует обращать особое внимание на глубину резания при обработке, когда режущие кромки короткого типа.

(Примечание 2) При использовании G1 стружколома (VP15TF), уменьшите подачу на 20%.

РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПАЗОВ

Обрабатываемый материал	Твердость	Материал	Скорость резания (м/мин)	φ16, φ17		φ20, φ21	
				Глубина резания (мм)	Подача (мм/об)	Глубина резания (мм)	Подача (мм/об)
P	Малоуглеродистые стали	VP15TF	180 (150–220)	–4.5	0.16	–6	0.18
				4.5–12	0.10	6–14	0.14
				12–17	0.07	14–22	0.10
M	Углеродистая сталь Легированная сталь	VP15TF	160 (120–200)	–4.5	0.14	–6	0.16
				4.5–12	0.09	6–14	0.12
				12–17	0.05	14–22	0.10
K	Нержавеющая сталь	VP30RT (VP15TF)	150 (120–180)	–4.5	0.14	–6	0.16
				4.5–12	0.09	6–14	0.12
				12–17	0.05	14–22	0.10
K	Чугун	VP15TF	180 (150–220)	–4.5	0.16	–6	0.18
				4.5–12	0.10	6–14	0.14
				12–17	0.07	14–22	0.10
N	Алюминиевые сплавы	HT10 (G1 Стружколом)	500 (200–800)	–4.5	0.18	–6	0.20
				4.5–12	0.12	6–14	0.16
				12–17	0.09	14–22	0.12
H	Закалённая сталь	VP15TF	80 (50–120)	–4.5	0.10	–6	0.12
				4.5–12	0.07	6–14	0.10

(Примечание 1) Следует обращать особое внимание на глубину резания при обработке, когда режущие кромки короткого типа.

(Примечание 2) При использовании G1 стружколома (VP15TF), уменьшите подачу на 20%.

K066

Рисунок 2.2 – Фрагмент каталога фирмы Mitsubishi с элементами режимов резания

Фрезерование с большой шириной контакта

ISO	CMC Код	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания K_s 1	Твердость по Бринеллю	η	CT530		GC1025	
						Мах толщина стружки, h_{ec} мм		Мах толщина стружки, h_{ec} мм	
						0.1 – 0.15 – 0.2		0.05 – 0.1 – 0.2	
						Скорость резания v_c , м/мин			
P		Сталь							
	01.1	Нелегированная	1500	125	0.25	430 – 390 – 350	340 – 310 – 255		
	01.2	C = 0.10 – 0.25 %	1600	150	0.25	385 – 350 – 315	305 – 280 – 230		
	01.3	C = 0.25 – 0.55 %	1700	170	0.25	365 – 330 – 300	290 – 260 – 215		
	01.4	C = 0.55 – 0.80 %	1800	210	0.25	315 – 290 – 260	250 – 230 – 185		
	01.5		2000	300	0.25	235 – 210 – 195	185 – 170 – 140		
	02.1	Низколегированная (легир. эл. $\leq 5\%$)	1700	175	0.25	300 – 275 – 245	240 – 215 – 180		
	02.2	В состоянии поставки	2000	300	0.25	180 – 165 – 150	145 – 130 – 105		
	03.11	Закаленная и отпущенная	1950	200	0.25	230 – 205 – 185	180 – 165 – 135		
	03.13	Высоколегированная (легирующих эл. $> 5\%$)	2150	200	0.25	190 – 170 – 155	150 – 135 – 110		
	03.21	Стойкая	2900	300	0.25	165 – 150 – 135	130 – 120 – 100		
	03.22	Закаленная инструментальная сталь	3100	380	0.25	105 – 95 – 85	80 – 75 – 60		
	06.1	Стальное литье	1400	150	0.25	305 – 280 – 250	245 – 220 – 180		
	06.2	Нелегированное	1600	200	0.25	245 – 220 – 200	195 – 175 – 145		
	06.3	Низколегированное (легир. эл. $\leq 5\%$)	1950	200	0.25	180 – 160 – 145	140 – 130 – 105		
06.3	Высоколегированное (легирующих эл. $> 5\%$)								
M		Обрабатываемый материал	Удельная сила резания K_s 1	Твердость по Бринеллю		CT530		GC1025	
			N/mm ²	HB	η	Мах толщина стружки, h_{ec} мм		Мах толщина стружки, h_{ec} мм	
						0.1 – 0.15 – 0.2		0.05 – 0.1 – 0.2	
						Скорость резания v_c , м/мин			
	05.11	Нержавеющая сталь	1800	200	0.21	285 – 255 – 230	255 – 225 – 180		
	05.12	Ферритная, мартенситная	2800	330	0.21	205 – 185 – 165	180 – 160 – 130		
	05.13	Незакаленная	2300	330	0.21	215 – 190 – 170	185 – 165 – 135		
	05.21	Дисперсионно-твердеющая	2000	200	0.21	265 – 240 – 215	250 – 225 – 180		
	05.22	Закаленная	2800	330	0.21	200 – 175 – 160	170 – 155 – 125		
	05.51	Аустенитная	2000	230	0.21	260 – 235 – 210	205 – 185 – 145		
	05.52	Незакаленная	2400	260	0.21	230 – 205 – 185	175 – 155 – 125		
	15.11	Свариваемая $\geq 0.05\%C$	1700	200	0.25	255 – 230 – 205	225 – 200 – 160		
	15.12	Ферритная, мартенситная	2500	330	0.25	180 – 160 – 145	155 – 140 – 115		
	15.13	Незакаленная	2100	330	0.25	195 – 175 – 155	170 – 155 – 120		
	15.21	Дисперсионно-твердеющая	1800	200	0.25	255 – 225 – 205	235 – 210 – 170		
15.22	Закаленная	2500	330	0.25	180 – 160 – 145	160 – 140 – 115			
15.51	Аустенитная	1800	230	0.25	245 – 220 – 195	195 – 175 – 140			
15.52	Незакаленная	2200	260	0.25	215 – 190 – 170	160 – 145 – 115			
K		Обрабатываемый материал	Удельная сила резания K_s 1	Твердость по Бринеллю		CB60		CC6090	
			N/mm ²	HB	η	Мах толщина стружки, h_{ec} мм		Мах толщина стружки, h_{ec} мм	
						0.1 – 0.15 – 0.2		0.1 – 0.2 – 0.3	
						Скорость резания v_c , м/мин			
	07.1	Ковкий чугун	800	130	0.28			1190 – 975 – 805	
	07.2	Ферритный (элементарная стружка)	900	230	0.28			980 – 805 – 660	
	08.1	Перлитный (сливная стружка)							
	08.2	Серый чугун	900	180	0.28	845 – 725 – 620	1320 – 1085 – 890		
	09.1	Низкой прочности	1100	245	0.28	910 – 780 – 665	1045 – 860 – 705		
	09.2	Высокой прочности							
	09.3	Чугун с шаровидным графитом	900	160	0.28			760 – 625 – 515	
	09.4	Ферритный	1350	250	0.28	495 – 420 – 360			
	09.5	Перлитный							

1) Обрабатывать с главным углом в плане 45-60°, с положительными передними углами и охлаждением.



Условия обработки:
Фреза диаметром 125 мм
расположена симметрично
относительно заготовки.
Величина перекрытия 100 мм

D 160



Рисунок 2.3 – Фрагмент каталога фирмы Sandvik Coromant с элементами режимов резания

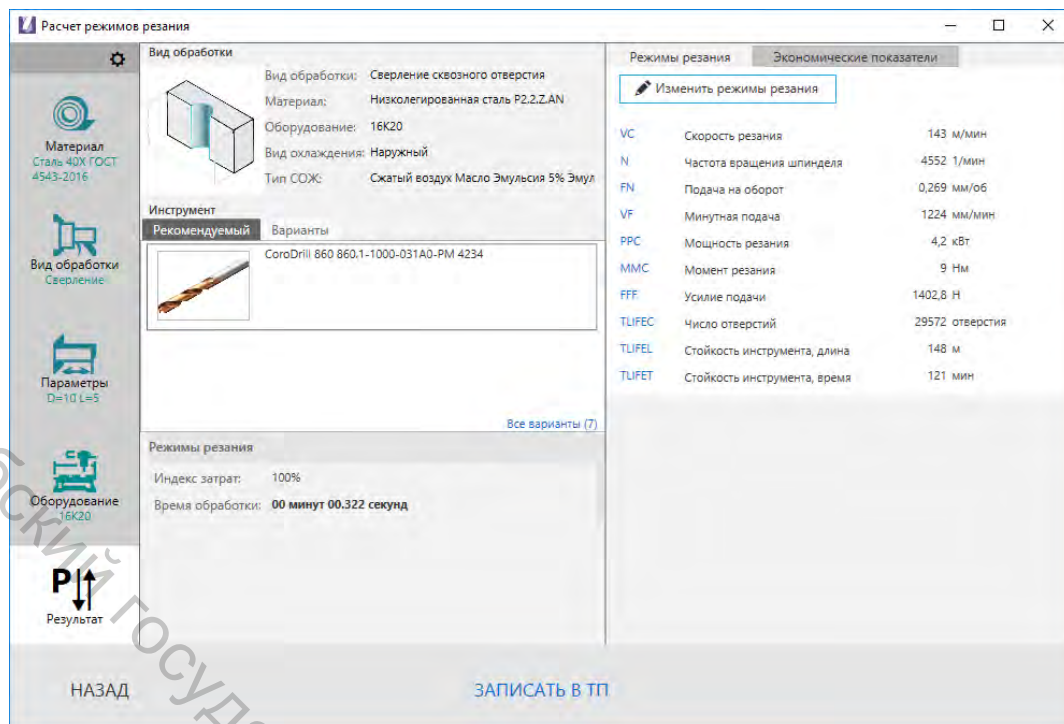


Рисунок 2.4 – Приложение АСКОН для расчета режимов резания

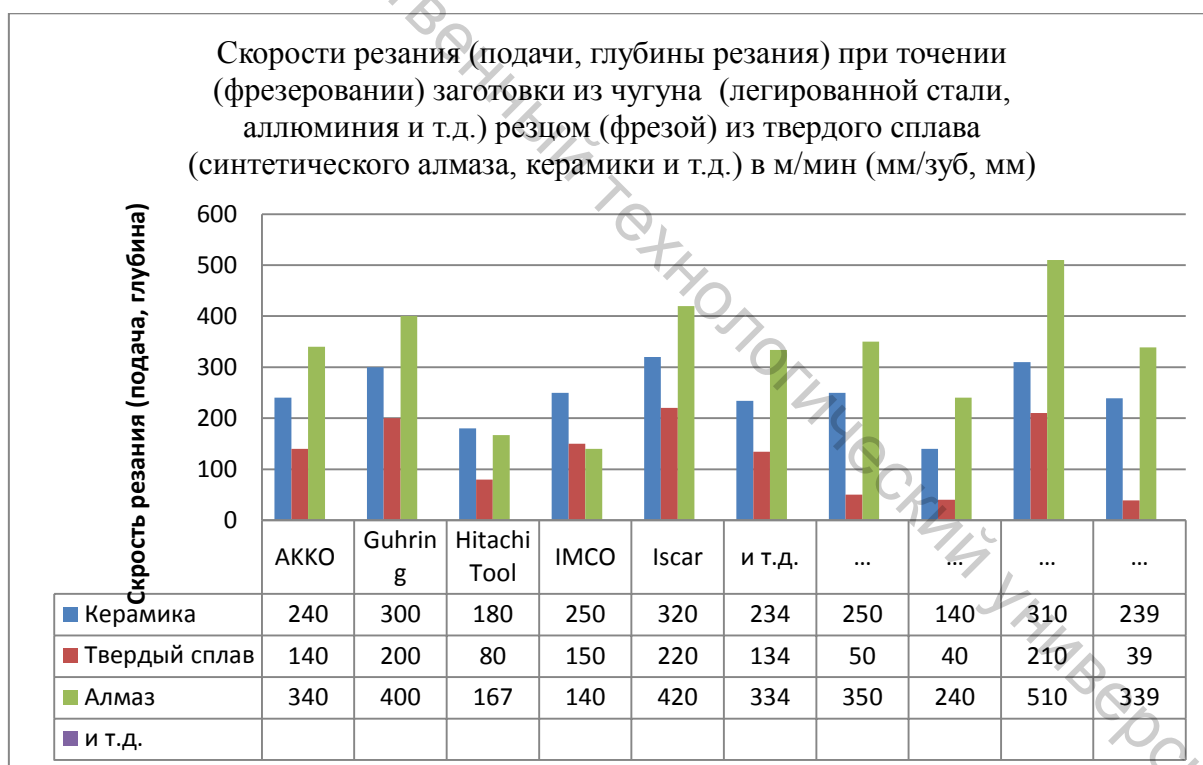


Рисунок 2.5 – Форма сводных таблиц по выбору режимов резания

Длина врезания зависит от геометрии обрабатываемой поверхности и способа обработки.

Так для цилиндрических, фасонных и дисковых фрез в том случае, если ось фрезы параллельна верхней (фронтальная проекция схемы установки) обра-

батываемой поверхности, расчётная схема для определения длины рабочего хода будет иметь вид, представленный на рисунке 2.6.

$$L_g = AM + (1...3).$$

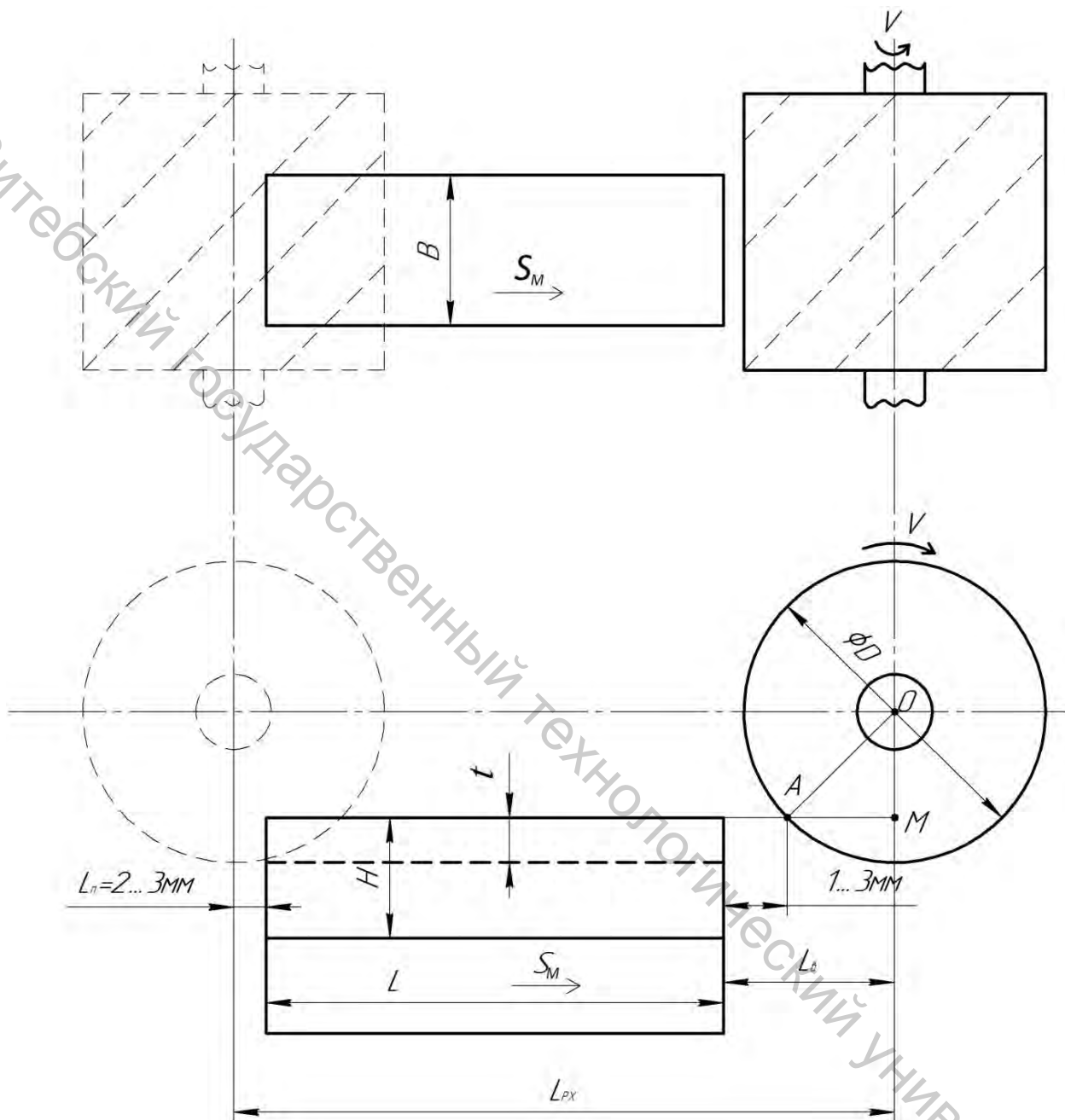


Рисунок 2.6 – Схема определения длины рабочего хода для цилиндрических, фасонных и дисковых фрез

Из $\triangle OAM$ по теореме Пифагора

$$\left(\frac{D}{2}\right)^2 = AM^2 + \left(\left(\frac{D}{2}\right) - t\right)^2, AM^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\left(\frac{D}{2}\right) - t\right)^2,$$

$$AM^2 = \left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\left(\frac{D}{2}\right)^2 - 2\left(\frac{D}{2}\right)t + t^2\right), AM = \sqrt{2\left(\frac{D}{2}\right)t - t^2} = \sqrt{Dt - t^2},$$

$$L_{\epsilon} = \sqrt{t(D-t)} + (1...3) \text{ мм},$$

где t – глубина резания; D – диаметр фрезы (рис. 1.11).

Число проходов N определяется по формуле

$$N = \left\lceil \frac{H}{t_{\text{маб}}} \right\rceil,$$

где $t_{\text{маб}}$ – глубина фрезерования (слой металла, снимаемый за один проход), принятая по справочным таблицам; H – припуск.

Обозначение $\left\lceil \frac{H}{t_{\text{маб}}} \right\rceil$ – «потолок значения» означает, что полученная величина округляется до ближайшего большего значения. Далее необходимо скорректировать значение глубины резания

$$t = \frac{H}{N}.$$

Тогда длина рабочего хода

$$\begin{aligned} L_{\text{px}} &= L_{\epsilon} + L + L_n = \sqrt{t(D-t)} + (1...3)\text{мм} + L + (2...3)\text{мм} = \\ &= \sqrt{t(D-t)} + L + (3...6)\text{мм}. \end{aligned}$$

Основное время

$$t_o = \frac{L_{\text{px}}}{S_m} N = \frac{\sqrt{t(D-t)} + L + (3...6)\text{мм}}{S_m} \cdot \frac{H}{t} \text{ мин}.$$

Если величину глубины резания не скорректировать, то на последнем проходе глубина резания будет меньше, чем на предыдущих, что необходимо учесть при определении величины врезания, следовательно, рабочего хода и основного времени

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_M} (N-1) + \frac{L_{kon}}{S_M} = \frac{\sqrt{t_{maб} (D - t_{maб})} + L + (3...6) \text{ мм}}{S_M} \cdot \left(\left\lceil \frac{H}{t_{maб}} \right\rceil - 1 \right) + \frac{\sqrt{t_{kon} (D - t_{kon})} + L + (3...6) \text{ мм}}{S_M} \text{ мин},$$

где L_{px} – длина рабочего хода на последнем проходе; $t_{maб}$ – глубина фрезерования (слой металла, снимаемый за один проход) на всех проходах кроме последнего, принятая по справочным таблицам; t_{kon} – глубина фрезерования на последнем проходе; H – припуск

$$t_{kon} = H - t_{maб} \left\lceil \frac{H}{t_{maб}} \right\rceil.$$

Обозначение $\left\lceil \frac{H}{t_{maб}} \right\rceil$ – «пол значения» означает, что полученная величина округляется до ближайшего меньшего значения.

Для торцевых и концевых фрез в том случае, если ось фрезы перпендикулярна верхней (фронтальная проекция схемы установки) обрабатываемой поверхности при симметричном фрезеровании, расчётная схема для определения длины рабочего хода будет иметь вид, представленный на рисунке 2.7.

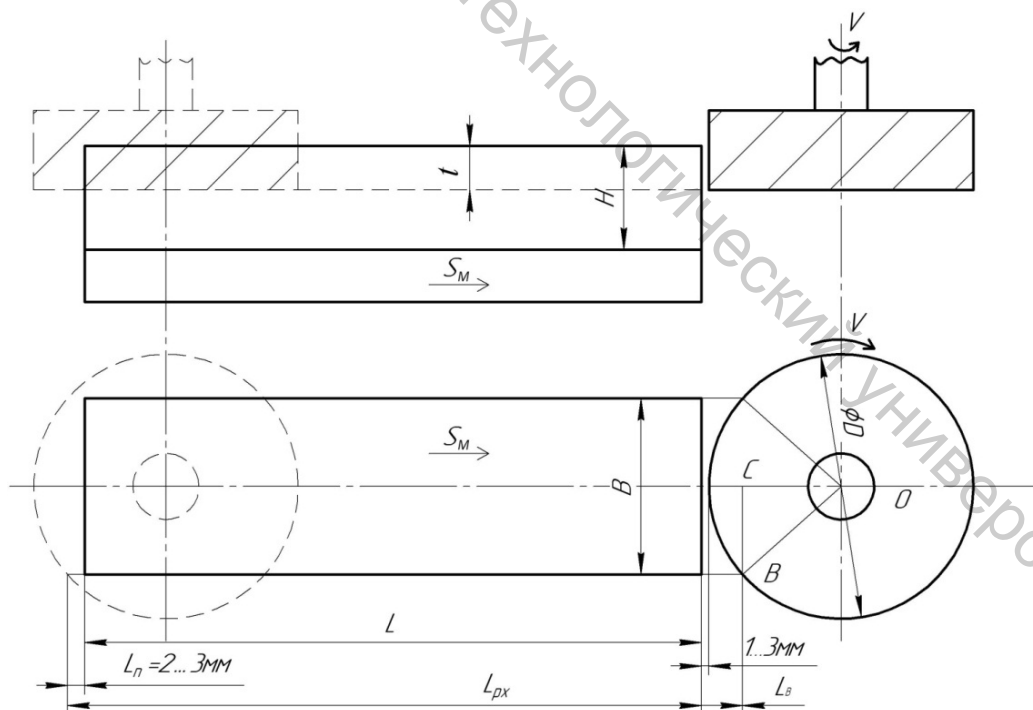


Рисунок 2.7 – Схема определения длины рабочего хода для торцевых и концевых фрез при симметричном фрезеровании

$$L_{\epsilon} = \frac{D}{2} - OC + (1...3)\text{мм},$$

где D – диаметр фрезы.

Из $\triangle OBC$ по теореме Пифагора

$$OC = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2}\right)^2} = 0,5\sqrt{D^2 - B^2}$$

$$\begin{aligned} L_{\epsilon} &= \frac{D}{2} - OC + (1...3)\text{мм} = 0,5D - 0,5\sqrt{D^2 - B^2} + (1...3)\text{мм} = \\ &= 0,5\left(D - \sqrt{D^2 - B^2}\right) + (1...3)\text{мм}, \end{aligned}$$

где B – ширина фрезерования для торцевой фрезы (или глубина резания t для концевой).

$$\begin{aligned} L_{px} &= L_{\epsilon} + L + L_n = 0,5\left(D - \sqrt{D^2 - B^2}\right) + (1...3)\text{мм} + L + (2...3)\text{мм} = \\ &= 0,5\left(D - \sqrt{D^2 - B^2}\right) + L + (3...6)\text{мм} \end{aligned}$$

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_m} N = \frac{0,5\left(D - \sqrt{D^2 - B^2}\right) + L + (3...6)\text{мм}}{S_m} \cdot \left[\frac{H}{t_{маб}} \right]_{\text{мин}},$$

где $t_{маб}$ – глубина резания для торцевой фрезы (или ширина фрезерования за один проход B для концевой), принятая по справочным таблицам; H – припуск (рис. 2.7).

Если $B \geq D$, то

$$L_{\epsilon} = \frac{D}{2} + (1...3) \text{ мм}.$$

При несимметричном фрезеровании плоскости торцевой фрезой расчётная схема для определения длины рабочего хода будет иметь вид, представленный на рисунке 2.8.

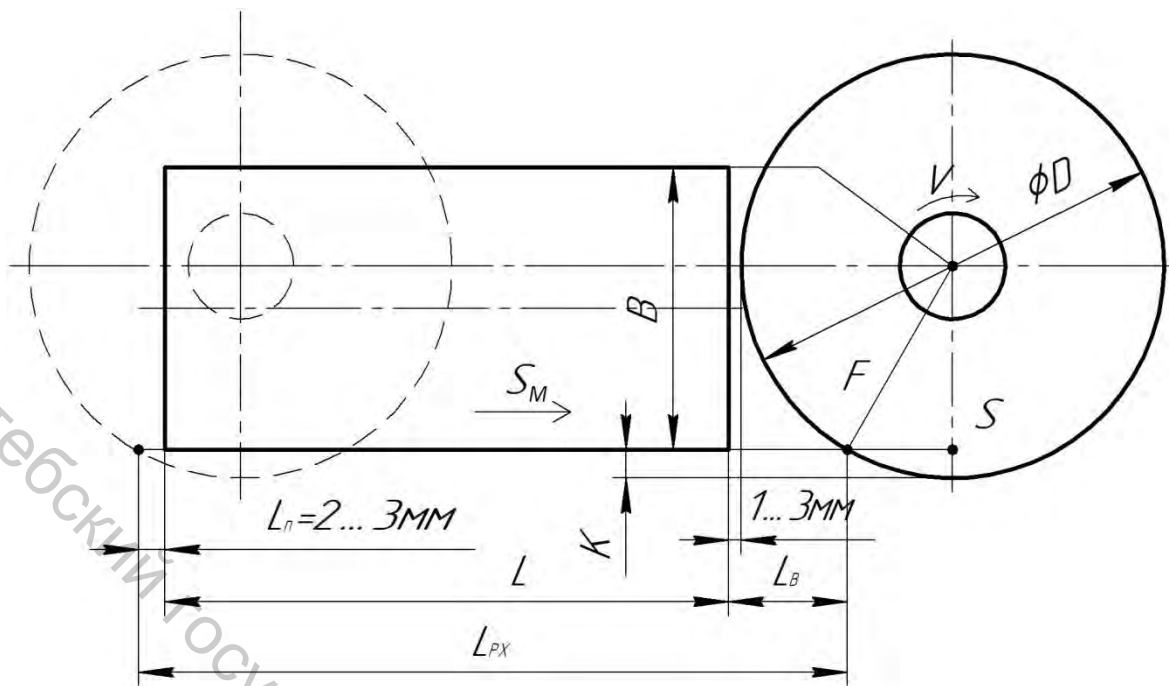


Рисунок 2.8 – Схема определения длины рабочего хода при несимметричном фрезеровании плоскости торцевой фрезой

$$L_6 = \frac{D}{2} - FS + (1...3)\text{мм},$$

где D – диаметр фрезы.

Из $\triangle OFS$ по теореме Пифагора

$$FS = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - K\right)^2} = \sqrt{DK - K^2},$$

где K – смещение фрезы.

$$L_6 = 0,5D - \sqrt{K(D - K)} + (1...3)\text{мм}.$$

Длина рабочего хода

$$\begin{aligned} L_{px} &= L_6 + L + L_n = 0,5D - \sqrt{K(D - K)} + (1...3)\text{мм} + L + (2...3)\text{мм} = \\ &= 0,5D - \sqrt{K(D - K)} + L + (3...6)\text{мм}. \end{aligned}$$

Основное время

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_m} N = \frac{0,5D - \sqrt{K(D-K)} + L + (3...6)\text{мм}}{S_m} \cdot \left[\frac{H}{t_{маб}} \right]_{\text{мин}},$$

где $t_{маб}$ – глубина резания для торцевой фрезы (или ширина фрезерования B для концевой фрезы), принятая по справочным таблицам; H – припуск (рис. 2.8).

Также возможны случаи несимметричного фрезерования при $B < \frac{D}{2}$ и $B = \frac{D}{2}$. Если $B = \frac{D}{2}$, то $L_6 = \frac{D}{2} + (1...3)$. Если $B < \frac{D}{2}$, то для определения L_6 необходимо построить расчётную схему и выразить величину.

При фрезеровании уступов концевой фрезой в том случае, если ширина уступа меньше половины диаметра фрезы, расчётная схема для определения длины рабочего хода будет иметь вид, представленный на рисунке 2.9.

$$L_6 = PT + (1...3).$$

Из $\triangle OPT$ по теореме Пифагора

$$\left(\frac{D}{2} \right)^2 = PT^2 + \left(\left(\frac{D}{2} \right) - t \right)^2,$$

$$PT = \sqrt{Dt - t^2},$$

$$L_6 = \sqrt{t(D-t)} + (1...3)\text{мм},$$

где t – глубина резания (задаётся по ширине уступа), D – диаметр фрезы (рис. 2.9).

Длина рабочего хода

$$\begin{aligned} L_{px} &= L_6 + L + L_n = \sqrt{t(D-t)} + (1...3)\text{мм} + L + (2...3)\text{мм} = \\ &= \sqrt{t(D-t)} + L + (3...6)\text{мм}. \end{aligned}$$

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_m} N = \frac{\sqrt{t(D-t)} + L + (3...6)\text{мм}}{S_m} \cdot \frac{H}{t} \text{ мин.}$$

Если величину глубины резания не скорректировать после округления N до ближайшего большего значения, то на последнем проходе глубина резания будет меньше, чем на предыдущих, что необходимо учесть при определении величины врезания и, следовательно, рабочего хода и основного времени.

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_m} (N-1) + \frac{L_{px}^{кон}}{S_m} = \frac{\sqrt{t(D-t)} + L + (3...6)\text{мм}}{S_m} \cdot \left(\left\lceil \frac{H}{t_{маб}} \right\rceil - 1 \right) + \\ + \frac{\sqrt{t^{кон}(D-t^{кон})} + L + (3...6)\text{мм}}{S_m} \text{ мин,}$$

где $L_{px}^{кон}$ – длина рабочего хода на последнем проходе; $t_{маб}$ – глубина фрезерования (слой металла, снимаемый за один проход) на всех проходах, кроме последнего, принятая по справочным таблицам; $t^{кон}$ – глубина фрезерования на последнем проходе; H – припуск.

$$t_{кон} = H - t_{маб} \left\lceil \frac{H}{t_{маб}} \right\rceil.$$

При фрезеровании уступов концевой фрезой в том случае, если глубина резания равна или больше половины диаметра фрезы

$$L_e = \frac{D}{2} + (1...3)\text{мм.}$$

При фрезеровании закрытых шпоночных пазов маятниковым способом имеет место два рабочих хода (рис. 2.10).

$$L_{px1} = L_e + H = H + (1...3)\text{мм,}$$

где H – глубина паза.

$$L_{px2} = L - D,$$

где L – длина паза; D – диаметр фрезы (рис. 2.10).

Число проходов N определяется по формуле

$$N = \left\lceil \frac{H}{t_{маб}} \right\rceil,$$

где $t_{маб}$ – глубина резания, принятая по справочным таблицам, H – припуск.

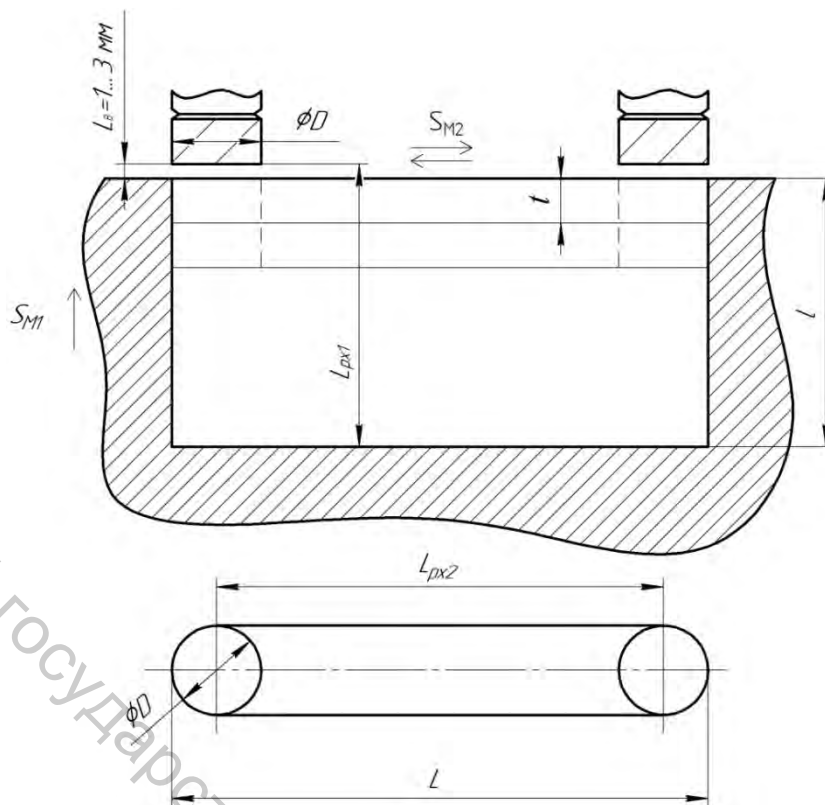


Рисунок 2.10 – Схема определения длины рабочего хода при фрезеровании закрытых шпоночных пазов маятниковым способом

Далее корректируется значение глубины резания

$$t = \frac{H}{N}.$$

Основное время

$$t_o = t_{o1} + t_{o2} = \frac{L_{px1}}{S_{M1}} N + \frac{L_{px2}}{S_{M2}} N = \left(\frac{H + (1...3)_{\text{мм}}}{S_{M1}} + \frac{L - D}{S_{M2}} \right) \cdot \frac{H}{t} \text{ мин},$$

где t – глубина резания; S_{M1} – минутная подача на врезание; S_{M2} – минутная подача на продольное фрезерование.

Если величину глубины резания не скорректировать после округления N до ближайшего большего значения, то на последнем проходе глубина резания будет меньше, чем на предыдущих, что так же необходимо учесть при определении величины врезания и, следовательно, рабочего хода и основного времени.

При фрезеровании пазов под сегментную шпонку длина врезания также равна 1–3 мм, а длина перебега отсутствует.

Результаты расчётов норм основного времени сводятся в таблицу и отражаются в виде диаграммы (рис. 2.11).

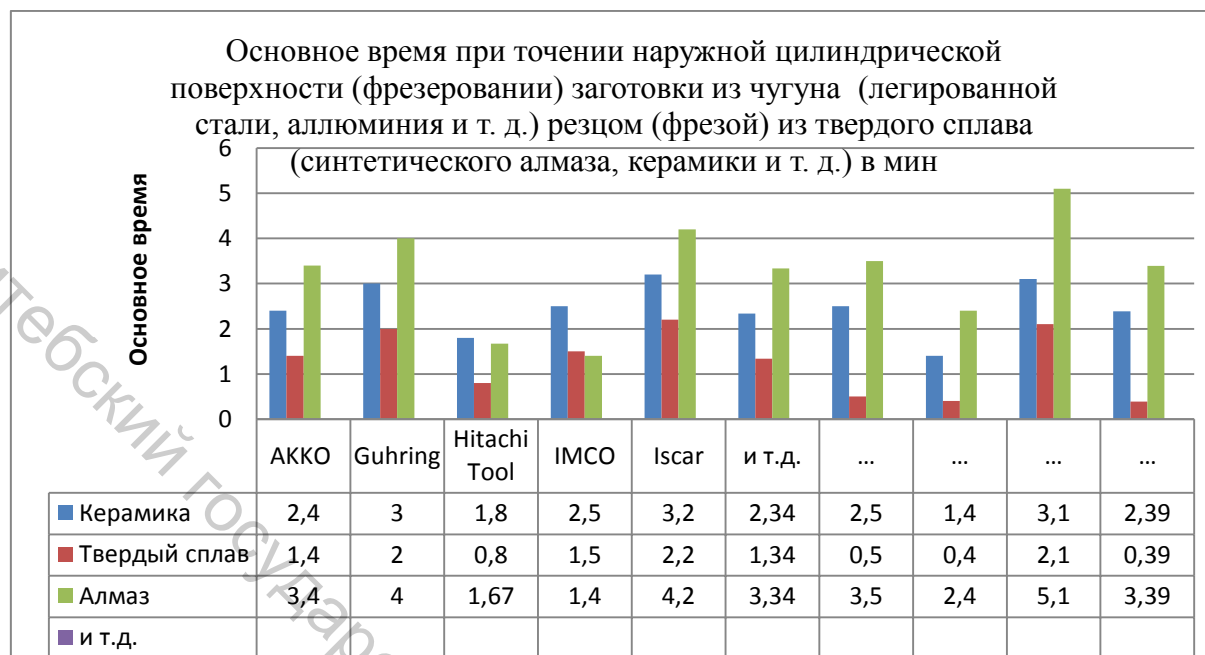


Рисунок 2.11 – Форма сводных таблиц показателей основного времени

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите известные Вам показатели режима резания при точении.
2. Перечислите известные Вам показатели режима резания при фрезеровании.
3. От чего зависит глубина и ширина резания при фрезеровании?
4. Какие Вам известны виды подач при фрезеровании? Запишите формулу их связи.
5. Приведите формулу затрат основного времени t_o .
6. Изобразите схему определения длины рабочего хода для цилиндрических, фасонных и дисковых фрез в том случае, если ось фрезы параллельна верхней (фронтальная проекция схемы установки) обрабатываемой поверхности.
7. Изобразите схемы определения длины рабочего хода для торцовых и концевых фрез в том случае если ось фрезы перпендикулярна верхней (фронтальная проекция схемы установки) обрабатываемой поверхности при симметричном и несимметричном фрезеровании.
8. Изобразите схему определения длины рабочего хода при фрезеровании уступов концевой фрезой в том случае, если ширина уступа меньше половины диаметра фрезы.
9. Изобразите схему определения длины рабочего хода при фрезеровании закрытых шпоночных пазов маятниковым способом.

3 ВЫБОР НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЗАДАЧИ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Цель работы: приобретение опыта анализа каталогов ведущих мировых производителей станков с целью выбора необходимого станочного оборудования для проектирования операций обработки заготовок деталей.

Задачи магистранта:

- изучить информацию о ведущих мировых компаниях-производителях станочного оборудования и их продукцию;
- согласно заданным вариантам, по каталогам фирм-производителей станочного оборудования выбрать обрабатывающие центры для проектирования операции обработки заготовок деталей классов «тела вращения» и «корпуса», исходя из условий чистовой обработки, серийного производства и максимальной концентрации переходов и установов пяти компаний-производителей;
- привести иллюстрации выбранного оборудования с указанием рабочей зоны, движений и векторов доступности инструментов для обработки конструктивных элементов заготовок;
- описать характеристики станков и их возможности (реализуемые переходы, установы, инструментальный магазин и др.) и привести их сравнительный анализ.

К современным отечественным и мировым лидерам в области производства станочного оборудования относятся следующие компании [19–22 и др.].

Республика Беларусь: ОАО «Вистан», ОАО «Визас», ОАО «Красный боец» (г. Орша), ОАО «Молодечненский станкостроительный завод», ОАО «Минский завод автоматических линий им. П. М. Машерова», ОАО «Гомельский завод станочных узлов», ОАО «Барановичский завод станкопринадлежностей», ОАО «СтанкоГомель», ОАО «МЗОР».

Российская федерация: Астраханский станкостроительный завод, Владимирский станкостроительный завод, Липецкое станкостроительное предприятие, Нижегородский завод фрезерных станков, Рязанский станкостроительный завод, Санкт-Петербургский завод прецизионного станкостроения, Самарский станкозавод, Станкостроительный завод Туламаш, Ульяновский завод тяжёлых и уникальных станков.

Дальнее зарубежье. Австралия: ANCA. Австрия: EMCO. Бельгия: HACO, LVD. Великобритания: HEXAGON. Германия: BENZINGER, Biegemaster, Bihler, Boschert, CHIRON, ELB-Schliff, Handtmann, HEDELIUS, HELLER, Hofler, Liebherr, SPINNER, Starrag, RUMPF, ZIMMERMAN, ZOLLER. Италия: ALESAMONTI, Biglia, BOLDRINI, CARETTA TECHNOLOGY, CEMSA, CO.MA.L., COSTA, EUROMAC, FASPAR, GASPARINI, Giuseppe Giana, MACRI, Millutensil, PAMA, Samputensisli, ZANI. Нидерланды: UNISIGN, Voortman. Польша: AVIA. Словакия: MicroStep, TRENS. Франция: HURON. Чехия: Bomar, Н.М. Transtech, KOVOSVIT MAS, TOS VARNSDORF. Швейцария: BalTec, Daetwyler, EWAG, Fassler, FEINTOOL, FEHLMANN, MIKRON, OSTERWALDER, REIDEN, SOLO. Швеция: CIDAN. Индия: JYOTI. США:

CINCINNATI MASHINES, HAAS, HURCO, Milltronics, Moore Tool, Gleason. Япония: AMADA, Hamai, FANUK, MAKINO, Matsuura, Mazak, MITSUI SEIKI, Okuma, TOYODA. Китай: Beijing No.1 Machine Tool Co., Ltd. China National Machine Tool Sales and Technical Service Corp., Guangzhou Machine Tool Works Co., Ltd., Shanghai Machine Tool Works Ltd. Spark Machine Tool Co., Ltd. Tianjin No.1 Machine Tool Works.

Компания Haas Automation Inc. (США) является одной из крупнейших компаний-производителей станочного оборудования в мире. Фирма была основана в 1983 году нынешним президентом компании Жене Хаасом (Gene Haas). Основной концепцией создания компании стало производство недорогого и высококачественного металлорежущего оборудования, конструктивно спроектированного с максимальным использованием модульного принципа построения и возможностью оперативно увеличивать объемы его выпуска без снижения качества [21–22].

В настоящее время производство металлообрабатывающих станков HAAS располагается на площади более 76 000 кв. метров и располагает самым современным оборудованием. Все выпускаемое фирмой HAAS оборудование изготавливается на заводе, расположенном в г. Окснарде (Oxnard, США, Калифорния).



Рисунок 3.1 – Завод фирмы HAAS

Компания одна из первых начала выпуск обрабатывающих станков с полностью программируемым делительно-поворотным столом. *Делительно-поворотный стол с цанговым патроном 5С* от Haas был невероятно успешен. В

течение последующих четырех лет компания расширила свой товарный ряд и включила в него широкий выбор полностью программируемых поворотных столов, ротационных устройств индексации с ЧПУ и принадлежностей для станков.

До сих пор компания Haas производит все основные компоненты в собственных цехах, используя современные обрабатывающие станки с ЧПУ для обеспечения высокой точности.

В 1987 году компания Haas Automation начала движение в другом направлении с разработки и производства своего первого вертикального обрабатывающего центра, станка, разработанного для выполнения таких операций по обработке, как фрезерование, сверление и нарезание резьбы. Станок VF-1 был представлен как конкурентоспособное предложение наравне со станками зарубежных производителей.

Используя новейшее оборудование и процедуры для производства с малыми допустимыми отклонениями, первые прототипы были завершены и представлены в 1988 году на Международной выставке станков (IMTS'88) в Чикаго, Иллинойс. В то время влиятельные представители данной отрасли и члены отраслевой прессы скептически отнеслись к тому, что изготовленный в Америке обрабатывающий центр может быть продан по цене ниже 50 000 долларов США. Однако в настоящее время практически все производители в мире предлагают некоторые типы вертикальных обрабатывающих центров по цене около 50 000 долларов США.

Сегодня Haas производит четыре основных товарных ряда: вертикальные обрабатывающие центры (VMC), горизонтальные обрабатывающие центры (HMC), фрезерные станки с ЧПУ и поворотные столы. В компании работает более 1200 человек и она продолжает свой стабильный рост. Цех компании в Окснарде (США, Калифорния) является самым крупным современным производством обрабатывающих станков в Соединенных Штатах.

К началу 2019 года компания Haas Automation продала более 60 000 ротационных изделий и 100 000 станков с ЧПУ. Компания в настоящее время поставляет больше станков с ЧПУ, чем какая-либо иная производственная компания в мире.

Задачу наибольшей централизации станочных работ решают станки с ЧПУ нового поколения, которые имеют несколько названий в технической литературе, обозначающих одно и то же: «многоцелевые станки», «многооперационные станки», «обрабатывающие центры» [23–29].

Многоцелевым данный станок вряд ли можно назвать, т. к. цель на самом деле одна – изготовить качественную деталь с наименьшими издержками. Неверно называть такой станок и многооперационным, поскольку, согласно определению, операция – это часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.

Самым «удачным» представляется название *обрабатывающий центр (ОЦ)*, из-за наибольшей централизации всего разнообразия станочных работ в пределах одного станка.

Под ОЦ понимаются станки с числовым программным управлением (ЧПУ), которые могут проводить комплексную механическую обработку 3-мерных заготовок при помощи различных инструментов.

В общем случае ОЦ классифицируются по виду обрабатываемых деталей, конструкции инструментального магазина, расположению шпинделей, виду стола, конструкции главного привода, характеру работы привода подачи, конструктивному исполнению механизма автоматической смены, методу крепления инструмента.

Различают две основные группы ОЦ: **токарные обрабатывающие центры и обрабатывающие центры фрезерно-сверлильно-расточной** группы. В основе такого деления – классификация деталей на «тела вращения» и «корпусы», поскольку их поведение в ходе изготовления на станке принципиально отличается: «тела вращения» обязательно должны вращаться, а «корпусы» – нет.

Обрабатывающие центры оснащаются инструментальными магазинами и устройствами для автоматической смены инструмента, что существенно повышает их производительность. На ОЦ производят черновую, получистовую и чистовую обработку заготовок, содержащих множество обрабатываемых поверхностей, а также выполняют разнообразные технологические переходы: фрезерование плоскостей, уступов, канавок, окон, колодцев; сверление, зенкерование, развёртывание, растачивание различных отверстий; специальное растачивание отверстий инструментом с тонким регулированием на размер и др.

Для осуществления всех этих операций обрабатывающему центру необходимо иметь большой запас металлорежущих инструментов.

Следующая особенность обрабатывающих центров заключается в наличии у некоторых из них рабочего стола или делительного приспособления с определённым угловым шагом деления. Поворот детали позволяет обработать её с нескольких сторон без переустановки. Иногда ОЦ оснащаются дополнительными столами (паллетами) и устройствами для автоматической смены заготовок. Смену заготовки на паллете-спутнике проводят во время работы станка (не останавливая обработку детали, которая в этот момент стоит на другой паллете), что помогает увеличить производительность.

Точность перемещений по осям в ОЦ обеспечивается с помощью сервоприводов и управляющей системы ЧПУ. В добавок к этим «встроенным функциям» станков имеются дополнительные системы измерения/калибровки как инструмента, так и детали. Применение таких контактных и бесконтактных лазерных устройств экономит время, необходимое на установку детали и её привязку к системе координат станка. Подобные системы также дают возможность контролировать износ инструмента, взаимное положение детали и инструмента, геометрию обрабатываемой поверхности, что увеличивает точность, повторяемость и качество обработки.

По причине высокой стоимости обрабатывающих центров, их используют для обработки наиболее технологически сложных заготовок. В среднем, один обрабатывающий центр может заменить до трёх-пяти станков с ЧПУ или пятьдесят универсальных станков.

Рабочая зона станка изолирована от оператора защитным ограждением кабинетного типа, повышая тем самым комфортность работы человека.

В то время, как большинство обрабатывающих центров имеет 3-мерную систему перемещения инструмента относительно детали, для обработки изделий сложной формы зачастую требуется управление режущим инструментом или деталью (столом) ещё по одной или нескольким дополнительным координатам (осям). Для таких работ предназначены 4-, 5- и 6-координатные обрабатывающие центры. Многие 3-координатные станки по заказу могут быть изготовлены в 4- или 5-координатном исполнении.

Для всех видов станков с ЧПУ применяют единую систему обозначений координат, рекомендованную ISO (рис. 3.2).

Координатами обозначают:

- положение оси вращения шпинделя (на станках с вращающимся инструментом) или оси вращения заготовки (на станках с вращающейся заготовкой), при этом направление вращения инструмента/заготовки координатой не обозначается;
- движение подачи инструмента или заготовки (прямолинейное или круговое).

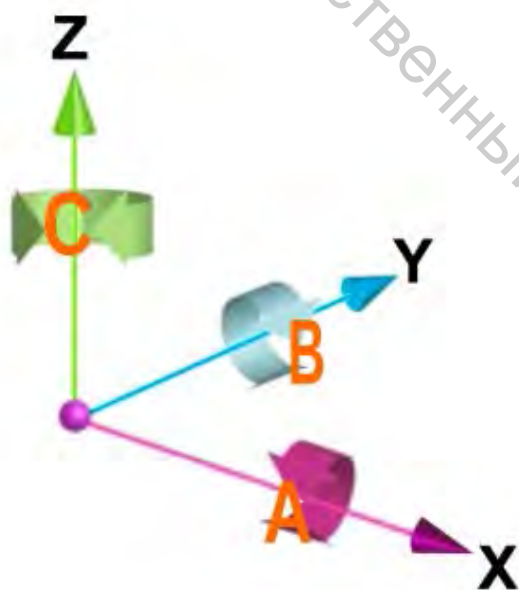


Рисунок 3.2 – Система обозначений координат, рекомендованная ISO

Все прямолинейные перемещения рассматривают в 3-мерной Декартовой системе координат X, Y, Z. Вращение вокруг каждой из «основных» осей обозначают буквами A, B, C (A – вращение вокруг X, B – вокруг Y, C – вокруг Z). По умолчанию во всех станках положение оси Z совпадает с осью вращения инструмента (или заготовки – на станках с вращающимися заготовками).

Кроме перемещения по основным осям X, Y, Z, возможны перемещения по параллельным, или «вторичным», осям (U, V, W) и третичным (P, Q, R) осям.

В отдельных случаях для того, чтобы на схеме расположения координат станка показать, каким образом осуществляется движение подачи – перемещением инструмента (совместно со шпиндельной бабкой, ползуном, стойкой станка и т. п.) или заготовки (совместно со столом станка) принято следующее:

- перемещение инструмента обозначают буквами X, Y, Z, и A, B, C;
- для перемещения заготовки используют те же буквы, но со штрихом – X', Y', Z' и A', B', C'.

Например, перемещение инструмента вокруг оси X при обходе криволинейного контура обозначают A, поворот заготовки при обработке в поворотном

приспособлении – А'. Соответственно, для перемещений вокруг оси Y используются обозначения В и В', вокруг оси Z – С и С'.

Токарные обрабатывающие центры (ТОЦ) наиболее эффективны при выполнении токарных, сверлильных и фрезерных работ над заготовкой круглого сечения (прутками, трубами) для изготовления сложных деталей типа «тела вращения» малых и средних размеров.

При этом доля сверлильных и фрезерных работ должна составлять не более 20 % от общего объема станочных работ.

Рассмотрим основные конструктивные и технологические особенности токарных ОЦ.

На станке имеются два шпинделя с возможностью синхронного вращения и позиционирования (рис. 3.3).

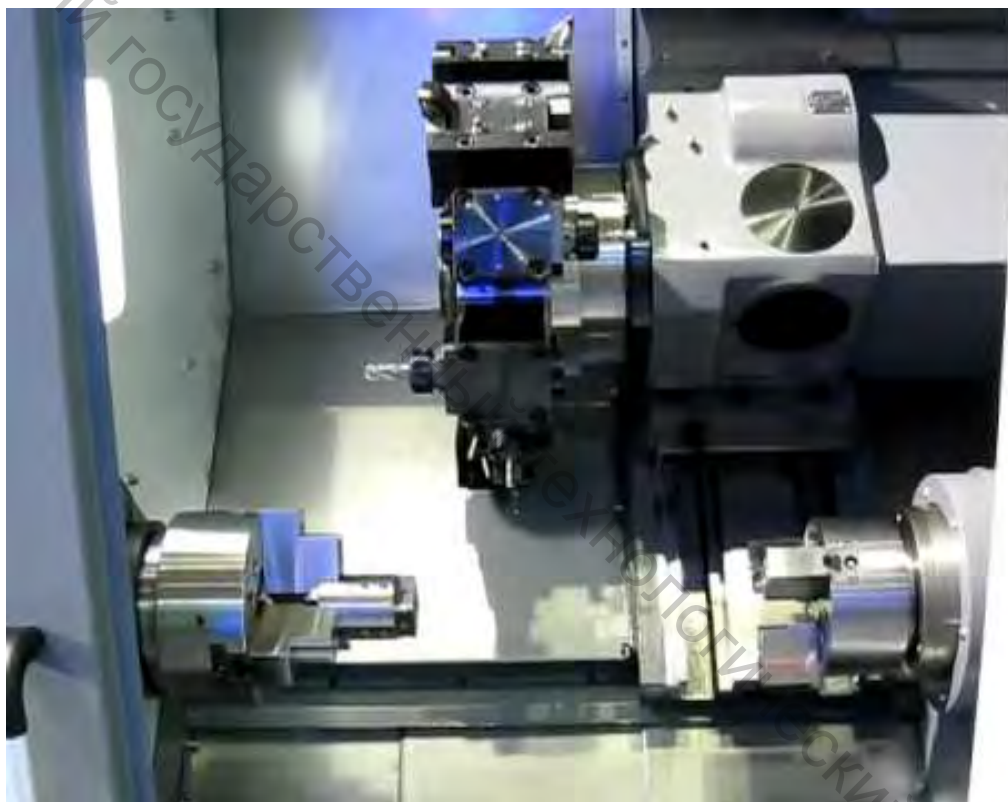


Рисунок 3.3 – Рабочая зона токарного ОЦ с двумя шпинделями

Главный шпиндель расположен в неподвижной шпиндельной бабке, а контршпиндель – в подвижном механизме задней бабки или в револьверной головке (РГ). На каждом шпинделе смонтирован самоцентрирующий патрон для установки заготовки.

В связи с этим появляется возможность:

- а) автоматической переустановки заготовки из одного патрона в другой;
- б) двухстороннего закрепления заготовки в двух патронах;
- в) одновременного изготовления двух коротких деталей, расположенных в разных патронах, при наличии 2 и более РГ (рис. 3.4).

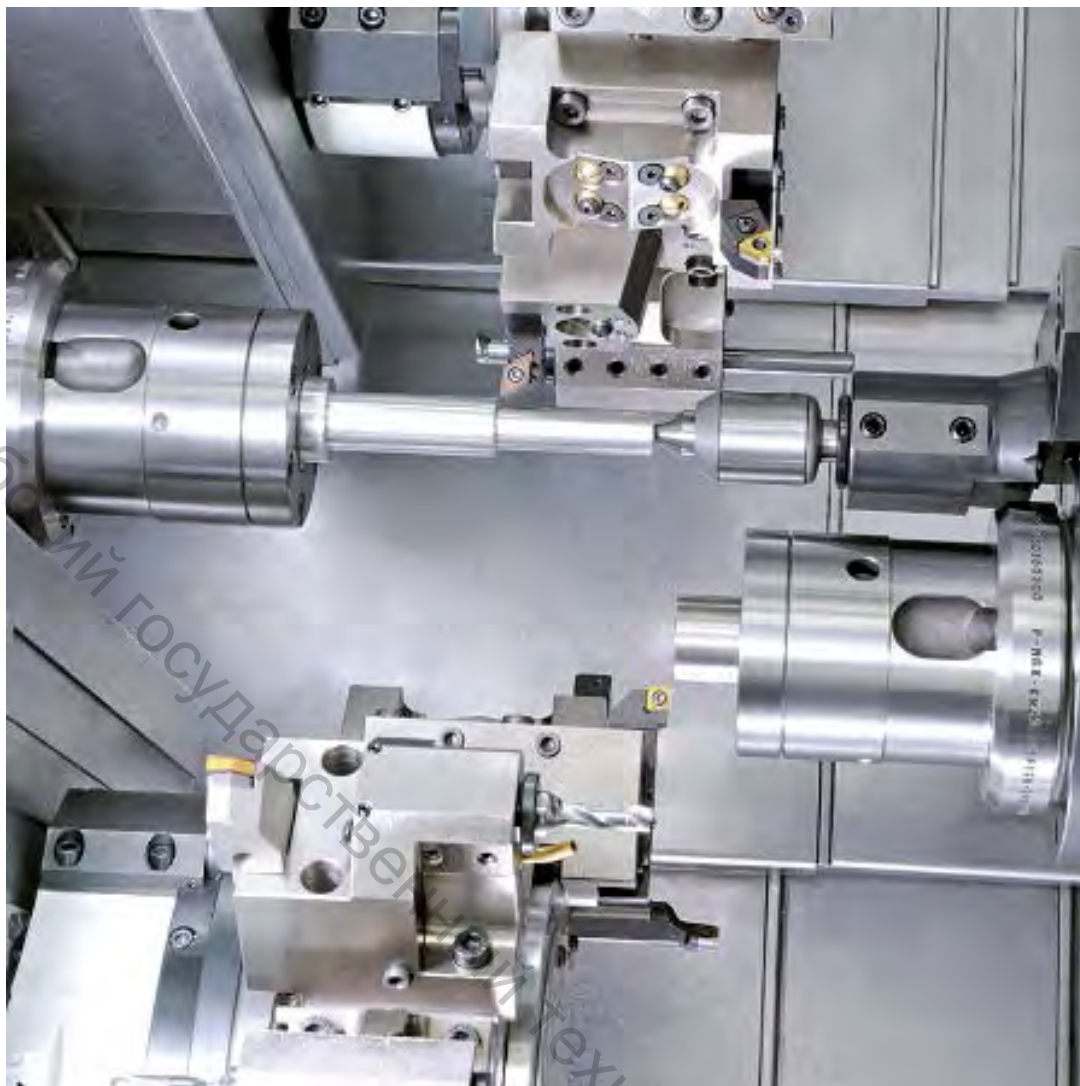


Рисунок 3.4 – Одновременная обработка двух деталей

К основным переходам, выполняемым на токарных ОЦ, относятся:

- обтачивание поверхностей вращения (цилиндры, конусы, сферы и др.);
- прорезание канавок;
- подрезание торцов;
- отрезание заготовок;
- растачивание поверхностей вращения;
- сверление, зенкерование, развертывание любого числа отверстий различной глубины;
- нарезание резьб (резцами, метчиками и гребёночными фрезами);
- фрезерование плоскостей, пазов и уступов;
- строгание (пазов, уступов, шлицев и др.).

Основными инструментами являются одна, две или три РГ. Как правило, половина гнёзд в каждой из них являются приводными, т. е. вращают установленный в них инструмент при фрезеровании, сверлении и т. д. (рис. 3.5).

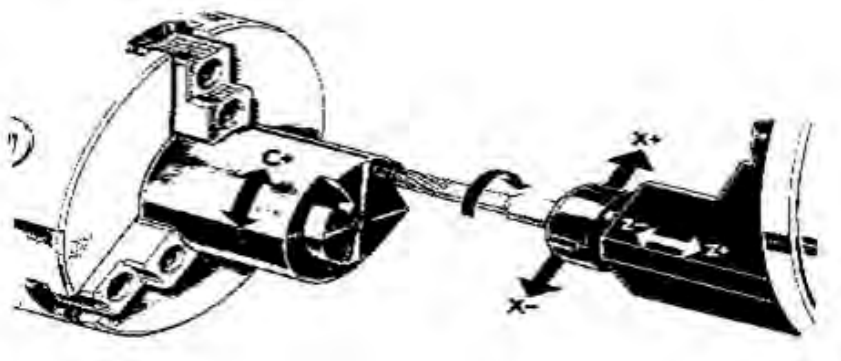


Рисунок 3.5 – Пример получения криволинейной поверхности на торце заготовки за счёт одновременного перемещения вращающейся концевой фрезы (по X, Z) и поворота заготовки (по C)

Существуют компоновки, в которых возможна пятикоординатная (см. далее) обработка (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – Пятикоординатный токарный ОЦ

Возможна одновременная обработка заготовки двумя инструментами, расположенными в разных РГ (рис. 3.7).

Кинематика станка обеспечивает следующие сочетания движений во время обработки (рис. 3.5–3.8):

- «вращается заготовка – вращается и поступательно движется инструмент»;
- «вращается заготовка – инструмент не вращается, но поступательно движется»;
- «заготовка не вращается – вращается и поступательно движется инструмент»;
- «заготовка поворачивается – вращается и поступательно движется инструмент» (рис. 3.5).

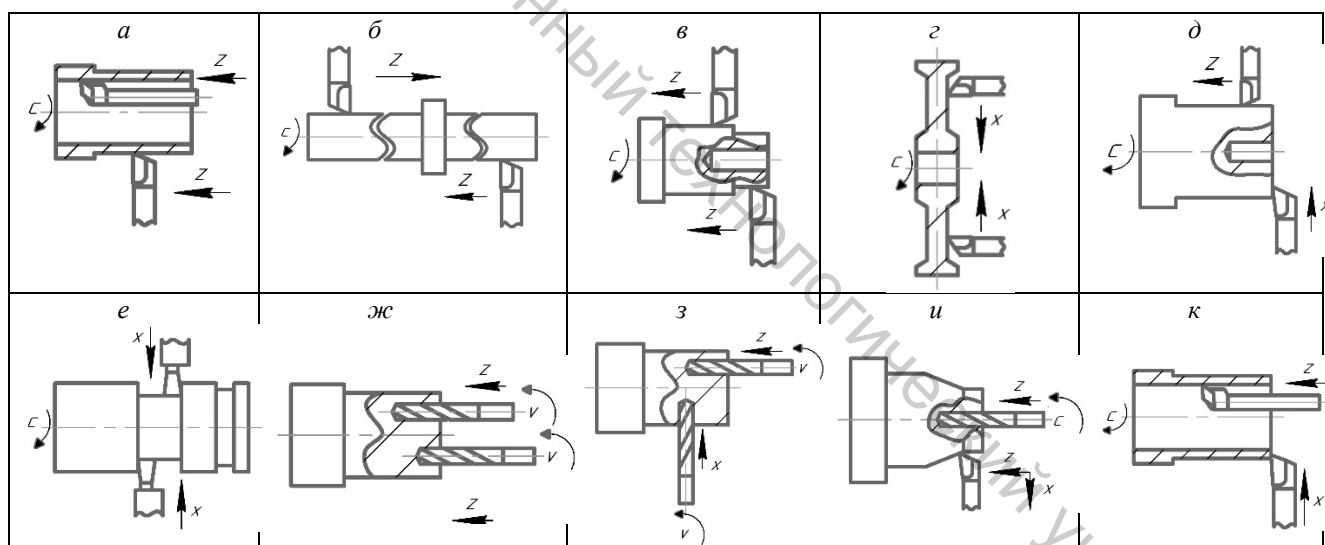
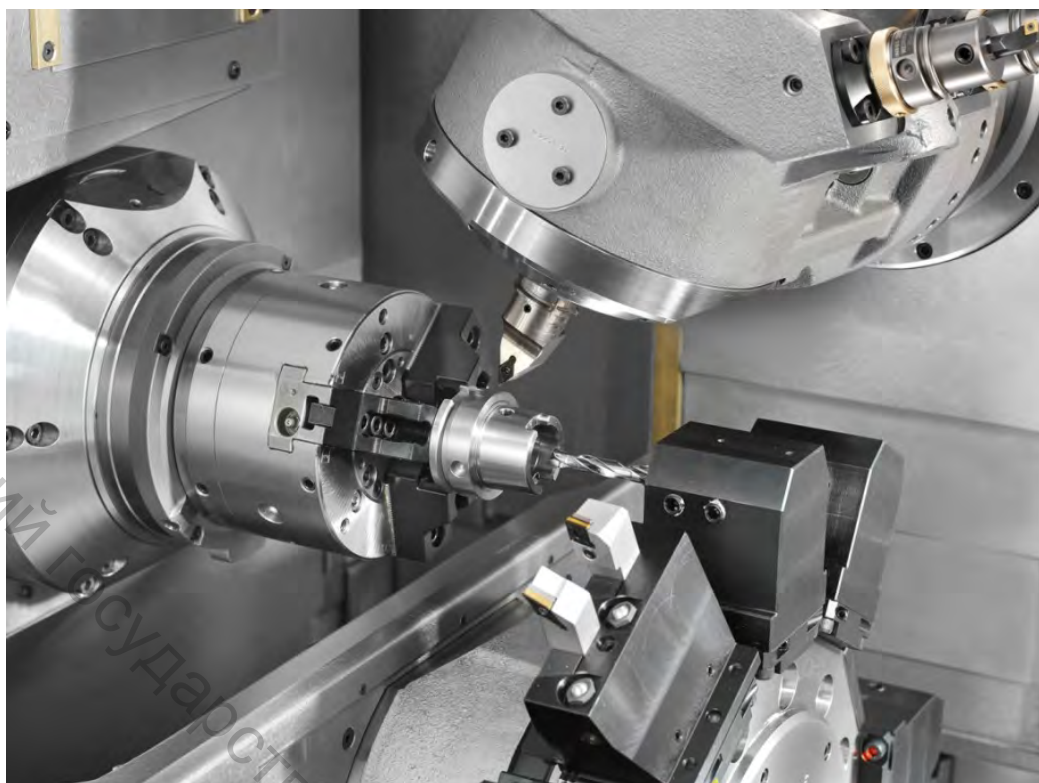


Рисунок 3.7 – Примеры одновременных работ инструментами разных револьверных головок (а – обтачивание и растачивание; б – обтачивание в противоположных направлениях; в – обтачивание в одном направлении; г – обработка торцов; д – обтачивание и подрезка торца; е – точение канавок и пазов с радиальной подачей; ж – продольная обработка двумя осевыми инструментами; з – продольная и поперечная обработка двумя осевыми инструментами; и – продольная обработка осевым инструментом и обтачивание; к – растачивание и подрезка торца)

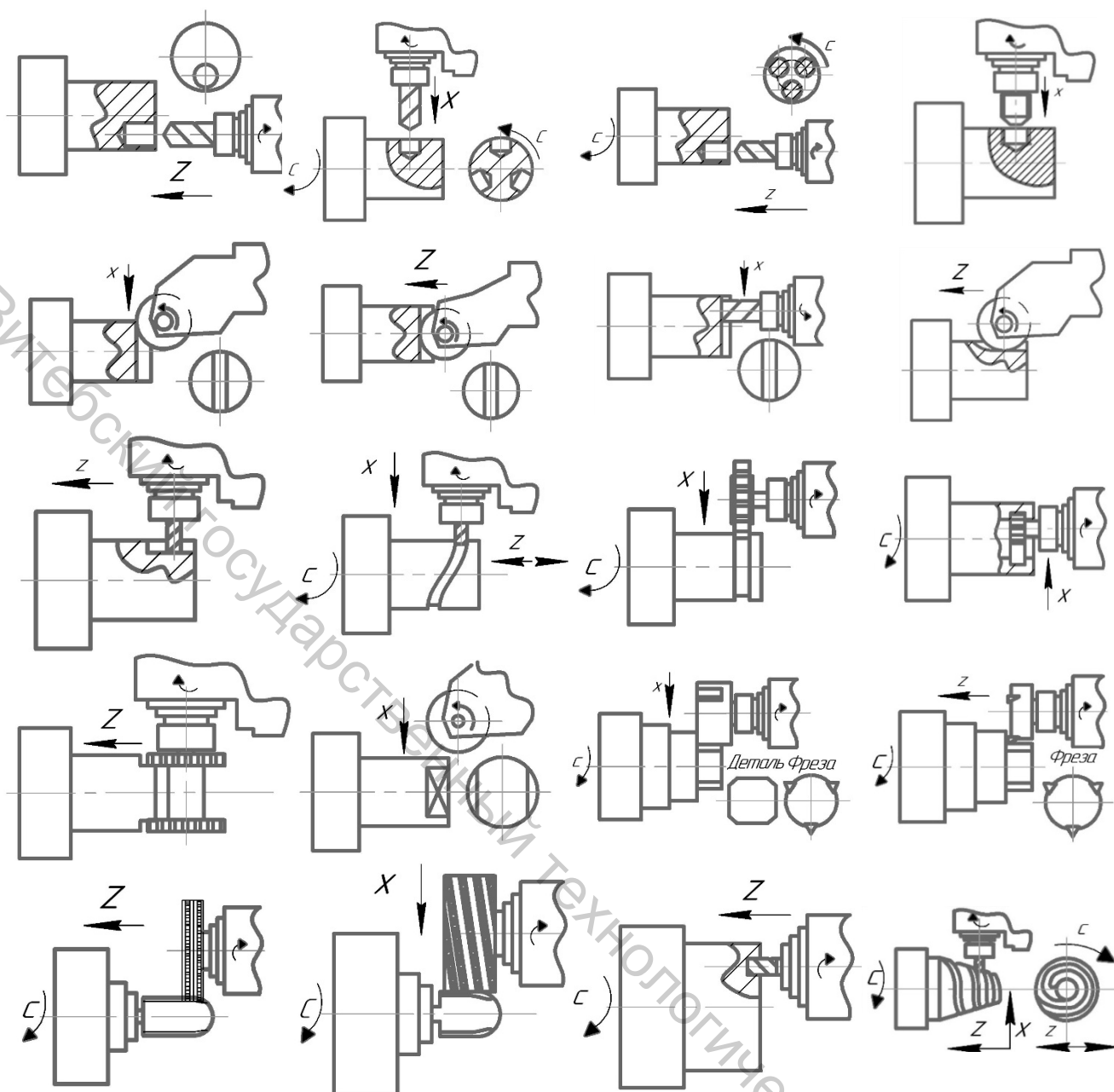


Рисунок 3.8 – Примеры станочных работ, выполняемых вращающимся инструментом

Рабочая поверхность станины с направляющими расположена не в горизонтальной плоскости, как на традиционных станках, а под углом 60° . Это улучшает удаление стружки и охлаждающей жидкости, и делает наглядным процесс обработки.

ОЦ фрезерно-сверлильно-расточной (ФСР) группы предназначены для централизованного и окончательного изготовления сложных деталей типа «корпус».

В основе компоновки станков – один шпиндель и два варианта его расположения: или вертикальное, или горизонтальное. При вертикальном положении шпинделя рабочий стол станка перемещается по двум прямоугольным координатам в горизонтальной плоскости, а шпиндельная бабка имеет вертикальное

перемещение. Такая компоновка предпочтительна для изготовления деталей с односторонней доступностью обрабатываемых поверхностей.

При необходимости обработки с разных сторон, на столе станка устанавливаются переналаживаемые многопозиционные приспособления, в том числе поворотные. Однако необходимо отметить, что поворотные приспособления, расширяя возможности станка, понижают жёсткость системы и занимают значительную часть рабочей зоны станка.

В ОЦ заложена возможность одновременного размещения большого числа (до 200 единиц), разнообразных по конструкции (расточных головок, фрез, свёрл и т. п.) и по назначению (режущих и контрольно-измерительных) инструментов.

Инструменты размещаются в инструментальных магазинах поворотного, цепного и стеллажного типов. Простейшим таким магазином выступает револьверная головка (РГ), в которой шпиндель и накопитель инструментов находятся в одном механизме. Смена инструментов в РГ происходит быстро и просто, однако в ОЦ ФСР группы они не нашли широкого применения по следующим причинам:

- малая ёмкость (вместимость не более 6–8 инструментов);
- не высокая жёсткость конструкции, снижающей точность обработки;
- значительные габариты шпиндельной бабки с РГ;
- ограниченность вертикального хода инструмента в рабочей позиции, если в соседних позициях РГ установлены длинные державки с инструментами.

Магазин поворотного (рис. 3.9) типа конструктивно схож с револьверной головкой и представляет собой диск или барабан, на периферии которых в специальных гнёздах размещаются инструменты. Отличие – в более плотной упаковке (большей вместимости) инструментов (до 30 и более) и в раздельном исполнении от шпинделя станка.

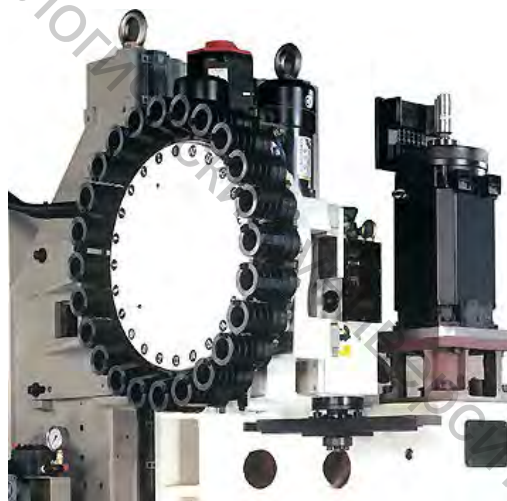


Рисунок 3.9 – Магазины поворотного типа

Магазин цепного (ленточного, гусеничного) типа (рис. 3.10) представляет собой цепной транспортёр, шаг которого определяется диаметром инструмен-

тов, а его длина – ёмкостью накопителя. Вместимость магазина может достигать 60 и более инструментов.

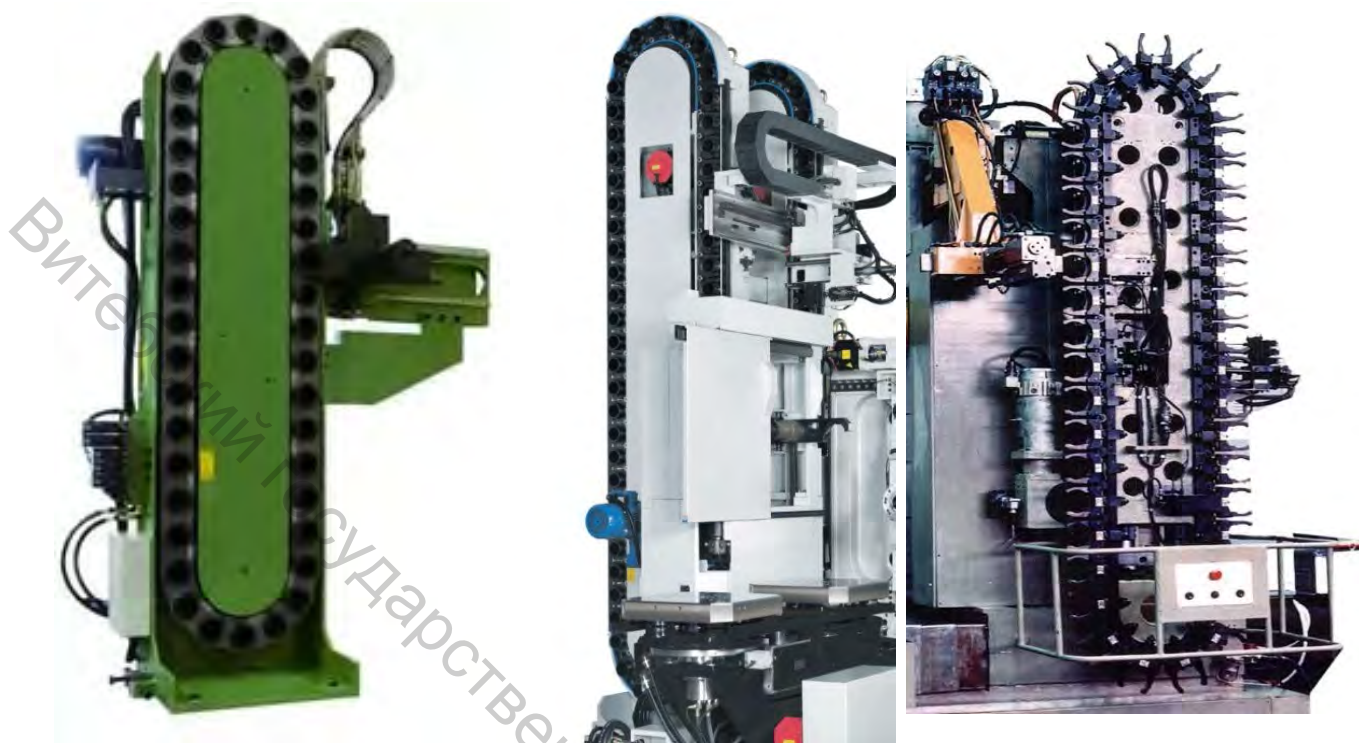


Рисунок 3.10 – Магазины цепного типа

Магазин стеллажного (или кассетного) типа (рис. 3.11) представляет собой вертикальную или горизонтальную плиту с рядами гнёзд под инструмент. Данная конструкция обеспечивает самую плотную упаковку, но усложняет поиск инструмента. В первых двух типах магазинов поиск осуществлялся одним движением, в третьем – двумя.

Иногда применяются комбинированные накопители инструментов, обычно инструментальный магазин применяется в сочетании с револьверной головкой.

На ОЦ ФСР группы предусмотрена автоматическая смена инструментов (рис. 3.12).

Основными станочными приспособлениями, в которых устанавливаются заготовки, являются простые универсально-сборные переналаживаемые приспособления (УСП), применяемые взамен малопроизводительных универсальных и дорогих специальных приспособлений.

Предусмотрена возможность автоматической смены столов-спутников (так называемых паллет) с приспособлениями и заготовками, настраиваемых на станке в начале операции и во время её выполнения.

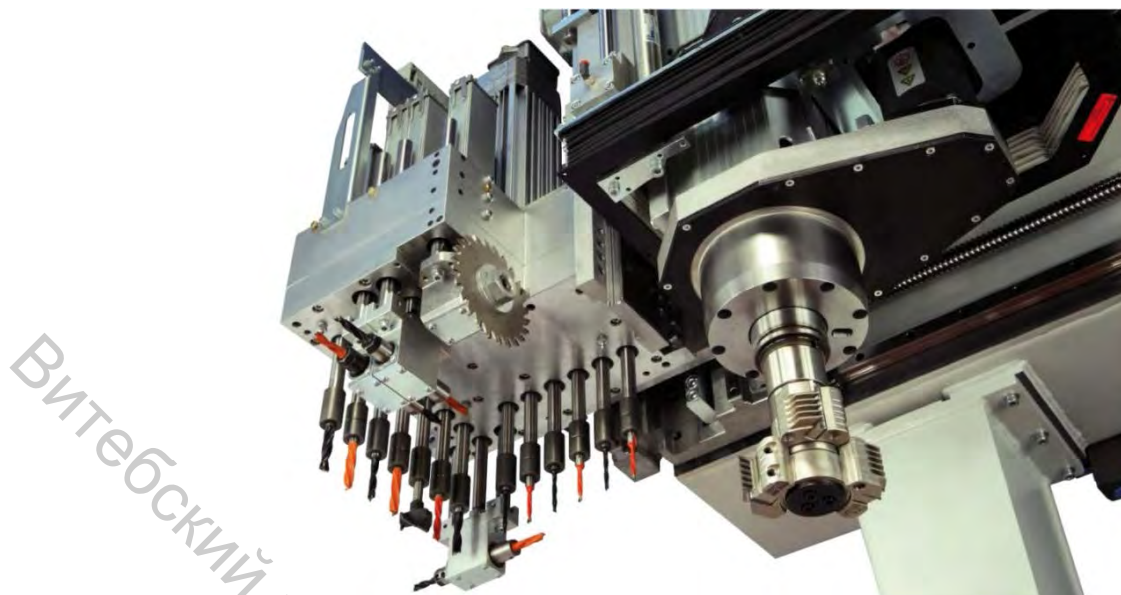


Рисунок 3.11 – Магазины стеллажного типа



Рисунок 3.12 – Автооператор с двумя захватами для смены инструмента

К основным переходам выполняемым на ОЦ ФСР группы относятся:

- торцовое фрезерование плоскостей и бобышек;
- контурное торцовое фрезерование плоскости;
- фрезерование плоских пазов и уступов концевыми и дисковыми фрезами;
- контурное боковое фрезерование криволинейных поверхностей;
- планетарное фрезерование отверстий концевыми фрезами;
- планетарное фрезерование круговых пазов в отверстиях дисковыми фрезами;
- сверление, зенкерование, развертывание любого числа отверстий различной глубины;
- нарезание резьб метчиками;
- нарезание резьб гребёнчатыми фрезами;
- растачивание отверстий;
- растачивание канавок.

Требования, предъявляемые к режущему и вспомогательному инструменту аналогичны требованиям, предъявляемым к инструменту для традиционных станков с ЧПУ. Однако следует отметить, что комплект режущего и вспомогательного инструмента для ОЦ СФР имеет расширенную номенклатуру.

Вертикальные ОЦ ФСР группы – наиболее распространенный тип обрабатывающих центров. Более высокая производительность неразрывно связана с высокой скоростью обработки и, как следствие, нагревом и зоны обработки детали, и самого инструмента. Для отвода тепла в вертикально-фрезерных обрабатывающих центрах охлаждающая жидкость поступает к месту обработки по внешним гибким каналам, либо подается в зону резания сквозь шпиндель. В последнем случае охлаждение группы шпиндель – инструмент – деталь является более эффективным, что позволяет увеличить скорость и точность обработки [23–29].

В отличие от фрезерных станков, имеющих колонну с фиксированным на ней шпинделем, у вертикальных обрабатывающих центров не стол, а шпиндель ходит вертикально по направляющим колонны (ось Z), а направляющие стола (оси X и Y) опираются непосредственно на станину, стоящую на фундаменте (рис. 3.13). Такая конструкция вертикальных обрабатывающих центров обеспечивает им более высокую жёсткость и точность обработки по сравнению с их предшественниками – фрезерными станками консольного типа. Это преимущество позволяет обрабатывать детали большей массы и размеров.

Автоматические сменщики инструмента в вертикальных обрабатывающих центрах, как правило, имеют до 24–30 позиций. Связано это с тем, что увеличение диаметра барабана сменщика ограничено глубиной станка. Применение сменщиков инструмента цепного (ленточного, гусеничного) типа в горизонтальных обрабатывающих центрах этого ограничения позволяет избежать.

Опционально вертикальные обрабатывающие центры могут дооснащаться поворотными или поворотно-наклоняемыми столами, применение которых превращает 3-координатные в 4- или 5-координатные обрабатывающие центры. Однако, такое решение подходит для небольших деталей, поскольку попереч-

ные размеры «накладного» стола заметно меньше, чем у штатного. При использовании дополнительного стола (делительного приспособления) ход по вертикальной оси тоже уменьшается: примерно на расстояние между «накладной» плоскостью и плоскостью «родного» рабочего стола.



Рисунок 3.13 – Компоновка вертикального ОЦ ФСР группы

В некоторых случаях из-за конструктивно-прочностных особенностей деталей, особенностей их обработки, а также необходимости отвода охлаждающей жидкости и стружки из зоны резания, более целесообразным является применение **горизонтальных обрабатывающих центров**: для таких задач горизонтальное расположение шпинделя является более удобным, а иногда без него просто не обойтись.

По сравнению с вертикальными, горизонтальные обрабатывающие центры имеют три базовых преимущества:

1. Первое – горизонтальное расположение шпинделя, благодаря чему стружка не скапливается в больших количествах в зоне обработки. Горизонтальные шпиндели выполняют по более жёсткой схеме, с системой противодействия вибрациям (например, пневматической).

2. Вторым преимуществом является двухпаллетное исполнение рабочего стола в сочетании с 4-й координатой: вращением в горизонтальной плоскости (ось «В») с шагом 1° или $0,001^\circ$. Наличие второй паллеты позволяет сэкономить время на снятии и установке заготовок, что особенно выгодно при массовом производстве, а поворот стола – обработать все боковые стороны детали.

3. Третье преимущество обусловлено горизонтальным расположением инструмента и возможности реализации сменщика инструмента в виде «гусе-

ничной» конструкции. Если используется не 2 гусеничных колеса, а более – «гусеница» может иметь сложную форму, что позволяет в малом объёме разместить большое количество инструмента: 40, 90 и даже 120 позиций (рис. 3.14).

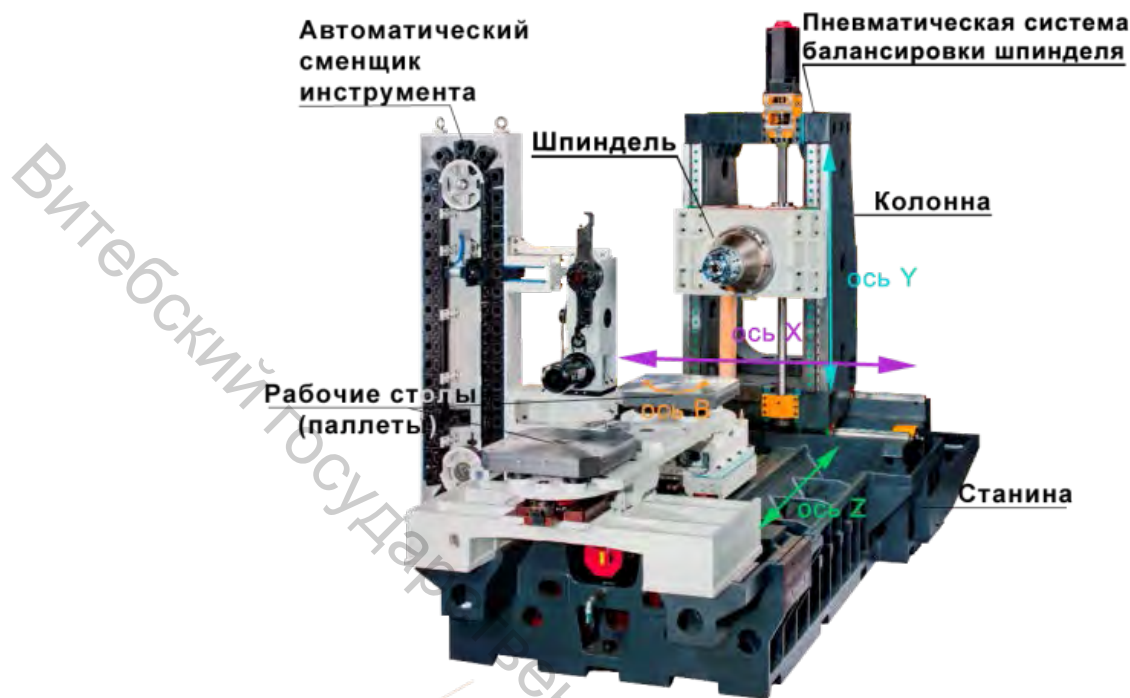


Рисунок 3.14 – Пример компоновки горизонтального ОЦ ФСР группы

Детали сложной формы требуют обработки, при которой инструмент должен одновременно описывать траекторию в трёх Декартовых измерениях в сочетании с наклоном инструмента и доворотом детали (т. е. ещё по двум «круговым» осям). Для этого у различных 5-координатных станков может быть использована пара А+В или В+С (рис. 3.15 и 3.16) круговых осей. Такие задачи решаются с помощью **5-координатных** обрабатывающих центров [23–29].

Применение 5-координатных обрабатывающих фрезерных центров имеет ряд преимуществ перед описанными в предыдущих разделах «классическими» 3-осевыми обрабатывающими центрами с вертикальным или горизонтальным направлением оси вращения шпинделя. Появление двух дополнительных осей (наклона шпинделя влево-вправо) и вращения детали вокруг горизонтальной (на манер токарного станка) или вертикальной (на манер токарно-карусельного станка) осей даёт возможность обрабатывать детали сложных профилей за один установ, экономя время обработки при гарантированной точности. Ведь любое перезакрепление (установ) заготовки на рабочем столе требует времени, а также вносит дополнительную погрешность. Кроме того, 5 координат дают возможность обрабатывающим центрам создавать более сложные в математическом смысле газо- и гидродинамические поверхности: лопасти и крыльчатки пропеллеров, роторов и т. п.

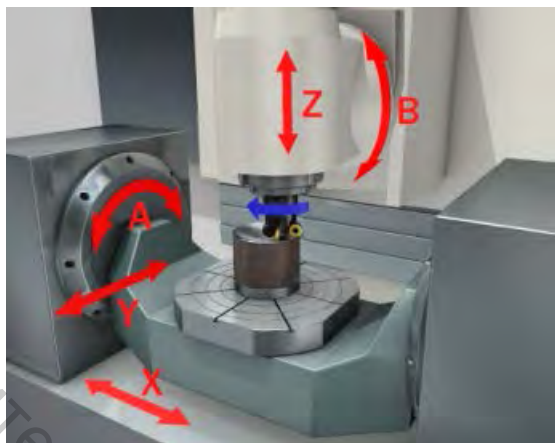


Рисунок 3.15 – Рабочие зоны 5-координатных станков с парой координат A+B

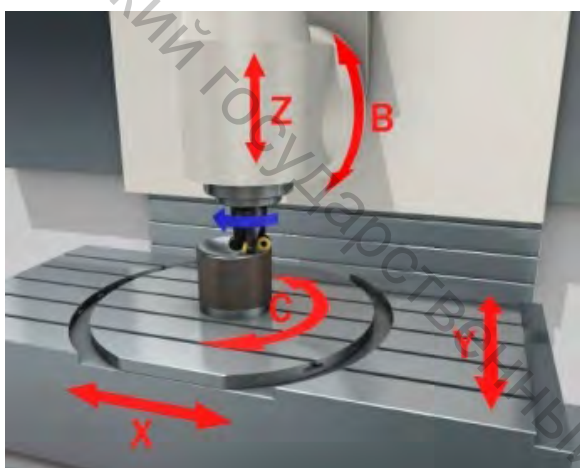


Рисунок 3.16 – Рабочие зоны 5-координатных станков с парой B+C

В целом, 5-координатные фрезерные обрабатывающие центры обладают следующими преимуществами по сравнению с 3-координатными:

- становится возможным изготавливать канавки и другие углубления более сложной конфигурации, гарантировать точность внутреннего профиля;
- появляется возможность использования более коротких фрез и обеспечивается более высокая точность обработки при высокой скорости резания;
- исключается погрешность базирования детали в приспособлении, что особенно важно для отверстий с произвольными углами, включая большие диаметры (в настоящее время с появлением износостойких материалов фрез большие отверстия стало эффективнее расфрезеровать, чем растачивать на расточных станках);
- отсутствие переустановок сокращает время обработки и исключает вероятность появления брака по вине оператора;
- снижается нагрузка на станок, износ инструмента, а также повышается качество обработки поверхности вследствие более рациональной, чем у 3-осевых обрабатывающих центров, ориентации оси вращения инструмента по отношению к поверхности детали и траектории движения фрезы.

Все эти преимущества проявляются в неразрывной связи с цифровой системой управления 5-координатными обрабатывающими центрами (ЧПУ) и с

применением компьютерных программ, называемых САМ-системами, предназначенных для подготовки и предварительной проработки исполняемых программ. САМ-системы обеспечивают расчёт траектории движения инструмента, её оптимизацию для увеличения скорости обработки и снижения нагрузки на станок/деталь/инструмент. Предварительный расчёт траекторий движения позволяет исключить соударения между фрезой (шпинделем), деталью и элементами станка во время обработки, визуализировать процесс обработки на мониторе и с помощью компьютерного моделирования достигать специфических целей в обработке отдельных участков детали.

При **выборе модели обрабатывающего центра** следует полагаться на свои инженерные знания и опыт работы.

Необходимо особенно обратить внимание на следующие характеристики станков:

Размер рабочей зоны позволяет определить габариты обрабатываемой заготовки. Для изготовления мелких деталей не нужен большой ОЦ. Достаточно малогабаритной модели с таким рабочим столом, чтобы его размер превышал размер обрабатываемой заготовки ровно настолько, сколько нужно для ее удобного закрепления. Если же стол вакуумный, то можно обойтись и без этого запаса.

Высота рабочего портала – это расстояние между кромкой инструмента и плоскостью рабочего стола. Немаловажен и диапазон хода шпинделя. Чем больше будут эти параметры, тем шире спектр размеров заготовок и, как следствие, готовых изделий.

Возможность реализации необходимого качественного и количественного состава переходов обработки заготовки. Для этого вначале необходимо проанализировать конструкторскую информацию, определить обрабатываемые конструктивные элементы и назначить список переходов обработки конструктивных элементов. При оценке возможности реализации переходов необходимо также оценить доступность конструктивных элементов для обработки с учетом установки заготовки на станке.

Комплектация. ОЦ даже одной модели могут различаться техническими характеристиками:

- мощность привода, от нее зависит максимальная масса детали;
- ход шпинделя;
- тип сменщика режущего инструмента, от этого зависит спектр выполняемых операций;
- тип рабочего стола;
- тип электрического двигателя.

Управление станком. Этот параметр определяет производительность:

- работа под непосредственным управлением ПК целесообразна при несерийном производстве единичных деталей. В этом случае в программу компьютера вносятся все необходимые для изготовления детали режимы – скорость подачи, чистота вращения и прочее;

– если производство изделий массовое, то нет нужды в изменении параметров рабочей программы. Для этого обрабатывающий центр должен быть оснащен специальными контроллерами. Для загрузки технологической информации используется флеш-накопитель памяти;

– самые совершенные системы управления предоставляют возможность изменения рабочих параметров в автоматическом режиме.

Характеристики работы шпинделя. Это:

- скорость вращения;
- плавность остановки, скорость разгона;
- уровень шума;
- мощность электрического двигателя привода;
- возможность замены инструмента в автоматическом режиме.

Охлаждение. ОЦ с водяным охлаждением менее шумные и стоят дешевле. Для серийного производства на промышленных предприятиях используются ОЦ с воздушным охлаждением.

Параметры станины. Чем более она массивна, тем лучше будет гаситься вибрация. Для крупносерийного производства выбирайте станок с литой станиной. Для производства небольшого количества деталей подойдет станок на цельносварной раме.

Все производители оборудования представляют каталоги продукции в печатном виде на выставках по металлообработке или на сайтах компаний. Также на многих сайтах компаний производителей инструмента имеются интерактивные каталоги (рис. 3.17–3.18) [22].



Рисунок 3.17 – Фрагмент каталога станков фирмы HAAS

ФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК С КОНУСОМ ISO 40 От US\$65,995  VF-3 40.0" x 20.0" x 25.0" (xyz) 1016 x 508 x 635 mm VF-3SS 40.0" x 20.0" x 25.0" (xyz) 1016 x 508 x 635 mm	СВЕРХСКОРОСТНОЙ От US\$77,995  VF-3SS 40.0" x 20.0" x 25.0" (xyz) 1016 x 508 x 635 mm VF-3SSYT 40.0" x 26.0" x 25.0" (xyz) 1016 x 660 x 635 mm VF-4SS 50.0" x 20.0" x 25.0" (xyz) 1270 x 508 x 635 mm	ФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК С КОНУСОМ ISO 50 От US\$98,995  VF-3YT/50 40.0" x 26.0" x 25.0" (xyz) 1016 x 660 x 635 mm VF-5/50 50.0" x 26.0" x 25.0" (xyz) 1270 x 660 x 635 mm	5-ОСЕВАЯ ФРЕЗА От US\$158,995  VF-5/40TR 50.0" x 26.0" x 25.0" (xyz) 1270 x 660 x 635 mm VF-5/50TR 50.0" x 26.0" x 25.0" (xyz) 1270 x 660 x 635 mm
---	--	--	---

Рисунок 3.18 – Фрагмент каталога станков серии VF фирмы HAAS

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите известные Вам крупнейшие станкостроительные компании Республики Беларусь.
2. Перечислите известные Вам крупнейшие станкостроительные компании Российской федерации.
3. Перечислите известные Вам крупнейшие станкостроительные компании дальнего зарубежья.
4. Дайте общую характеристику станков с ЧПУ типа «обрабатывающий центр».
5. Чем вызвана классификация ОЦ на две группы: токарные ОЦ и ОЦ ФСР группы?
6. Опишите единую систему обозначений координат станков с ЧПУ, рекомендованную ISO.
7. Перечислить основные конструктивно-технологические особенности токарных ОЦ.
8. Почему на токарных ОЦ возможно выполнение внеосевых и радиальных сверлильных работ, а на традиционных токарных станках с ЧПУ – нет?
9. Как изменятся технологические возможности токарных ОЦ при отсутствии на станке контршпинделя?

10. Перечислите наиболее распространённые переходы реализуемые на токарных ОЦ.

11. Перечислите сочетания движений во время обработки, которые можно реализовать на токарных ОЦ.

12. Перечислите основные различия между ОЦ ФСР группы и токарными ОЦ.

13. Перечислите основные конструктивные и технологические особенности ОЦ ФСР группы.

14. Перечислите основные переходы выполняемые на ОЦ ФСР группы

15. Изобразите схемы инструментальных магазинов поворотного, цепного и стеллажного типов для ОЦ ФСР группы.

16. Перечислите преимущества горизонтальных ОЦ ФСР группы по сравнению с вертикальными.

17. Какие задачи решаются с помощью 5-координатных обрабатывающих центров?

18. Какими преимуществами обладают 5-координатные фрезерные ОЦ по сравнению с 3-координатными?

19. Изобразите рабочие зоны 5-координатных ОЦ с парой координат А+В.

20. Изобразите рабочие зоны 5-координатных ОЦ с парой В+С.

21. Перечислите критерии выбора модели ОЦ для решения производственных задач.

4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ КЛАССОВ «ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ» И «КОРПУСА» НА СОВРЕМЕННЫХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРАХ

Цель работы: приобретение опыта проектирования технологических операций чистовой обработки деталей на современных обрабатывающих центрах.

Задачи магистранта:

– из выбранных в предыдущей работе обрабатывающих центров пяти компаний-производителей определить один наиболее подходящий станок для обработки корпусной детали и один станок для обработки тела вращения согласно вариантам задания;

– изобразить эскизы заготовок корпусной детали и тела вращения для чистовой обработки;

– для вала и корпуса (согласно вариантам заданий) и выбранных ОЦ для их обработки разработать схемы формообразования конструктивных элементов деталей;

– определить число установов на операциях и разработать схемы базирования и схемы установки;

– выбрать марки и типоразмеры режущих инструментов;

- выбрать соответствующий вспомогательный инструмент;
- выбрать мерительный инструмент и разработать схемы измерений;
- разработать схемы обработки;
- выбрать, соответствующие схемам установки, стандартные приспособления или разработать эскизы конструкций универсально-сборных, специальных или универсальных наладочных приспособлений для установки и закрепления заготовок;
- разработать текстовое описание вспомогательных и рабочих переходов;
- разработать фрагмент управляющей программы для обработки конструктивного элемента;
- выбрать показатели режимов обработки;
- оценить затраты времени на операцию;
- оформить комплект технологической документации согласно ГОСТ 3.1119-83 и ГОСТ 3.1404-86 в составе: а) маршрутная карта МК (маршрутно-операционное описание) ГОСТ 3.1118-82 или карта технологического процесса КТП ГОСТ 3.1404-86; б) операционная карта ОК ГОСТ 3.1404-86; в) карта эскизов КЭ ГОСТ 3.1105-84 и ГОСТ 3.1128-93.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение понятиям «операция», «установ», «переход».
2. Какова последовательность проектирования операции?
3. Дайте определение понятиям «схема базирования» и «схема установки».
4. Приведите классификацию баз по числу налагаемых связей.
5. С каким базами сочетается в комплект установочная база?
6. С каким базами сочетается в комплект двойная направляющая база?
7. Как на схеме установки обозначаются: трёхкулачковый патрон, цанговый патрон, центра(вращающийся, плавающий и неподвижный), опоры точечные, точка приложения и направление силы закрепления?
8. Опишите систему универсально-сборных приспособлений.
9. Опишите порядок комплектования комплекта технологической документации на технологический процесс.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Металлоконструкции 2020 [Электронный ресурс] : выставки по металлообработке / Сайт производителя – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://metall.life/expositions/273>. – Дата доступа: 01.06.2019.
2. Steelfabme [Электронный ресурс] : выставка Steelfab ОАЭ / Сайт производителя – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://www.steelfabme.com> Steelfabme. – Дата доступа: 01.06.2019.
3. Металлообработка [Электронный ресурс] : машиностроение и металлообработка / Сайт производителя – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <http://metalworking.minskexpo.com/metalloobrabotka>. – Дата доступа: 01.06.2019.
4. Твёрдый сплав [Электронный ресурс] : каталог производителей инструмента / Сайт производителя – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <http://tverdysplav.ru/katalog-proizvoditelej-instrumenta/>. – Дата доступа: 01.06.2019.
5. Металлорежущий инструмент [Электронный ресурс] : металлорежущий инструмент / Сайт производителя – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <http://metallorez.by/vendors>. – Дата доступа: 01.06.2019.
6. Станкорепорт [Электронный ресурс] : Режущий инструмент и станки / Сайт производителя – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа : <https://stankoreport.ru/catalog/tools>. – Дата доступа: 01.06.2019.
7. Seco [Электронный ресурс] : компания Seco / Сайт производителя – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://www.secotools.com/>. – Дата доступа: 01.06.2019.
8. Беляков, Н. В. Синтез технологических процессов : учебное пособие / Н. В. Беляков [и др.]. – Витебск : УО «ВГТУ» , 2017. – 472 с. – Имеется электронный аналог и 101 экз.
9. Основы технологии машиностроения и формализованный синтез технологических процессов: в 2 ч. : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». Ч. 1 / В. А. Горохов [и др.]; под ред. В. А. Горохова. – Старый Оскол : ТНТ, 2011. – 496 с. – 4 экз.
10. Горохов, В. А. Материалы и их технологии : учебник : в 2 ч. Ч. 2 / В. А. Горохов, Н. В. Беляков, А. Г. Схиртладзе ; под ред. В. А. Горохова. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2016. – 532 с. – Имеется электронный аналог и 2 экз.
11. Клименков, С. С. Формообразующий инструмент в машиностроении. Расчет и конструирование : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по машиностроительным специальностям / С. С. Клименков. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2016. – 670 с. – 2 экз.

12. Клименков, С. С. Современные технологии в машиностроении и приборостроении : учебник / С. С. Клименков. – Витебск : УО «ВГТУ». – 2017. – 311 с. – Имеется электронный аналог и 21 экз.
13. Гречишников, В. А. Режущие инструменты / В. А. Гречишников [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2019. – 388 с. – в заявке на приобретение.
14. Фельдштейн, Е. Э. Режущий инструмент. Эксплуатация : учебное пособие для студентов вузов по машиностроительным спец. / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2012. – 256с. – 20 экз.
15. Гречишников, В. А. Проектирование режущих инструментов / В. А. Гречишников [и др.]. – 3-е изд., стер. – Старый Оскол : ТНТ, 2019. – 300 с. – в заявке на приобретение.
16. AkkometalworkingTool [Электронный ресурс] : компания АККО / Сайт производителя – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <http://www.akko.com.tr/anasayfa/ru>. – Дата доступа: 01.06.2019.
17. Welcometo Sandvik Coromant [Электронный ресурс] : Компания Sandvik Coromant / Сайт производителя – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/pages/default.aspx?country=ru>. – Дата доступа: 01.06.2019.
18. Mitsubishi Materials [Электронный ресурс] : Компания Mitsubishi / Сайт производителя – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://www.mitsubishicarbide.com/EU/ru/>. – Дата доступа: 01.06.2019.
19. MaxPlant [Электронный ресурс] : производители станков с ЧПУ / Сайт производителя – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: https://www.maxplant.ru/article/cnc_oem.php. – Дата доступа: 01.06.2019.
20. МирПром [Электронный ресурс] : зубообрабатывающие технологии / Сайт производителя – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://mirprom.ru/public/zuboobrabatyvayushchie-tehnologii.html>. – Дата доступа: 01.06.2019.
21. История HaasAutomation [Электронный ресурс] : Abamet / Сайт производителя – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://www.abamet.ru/press/haas/press-releases/2012/haas-automation-inc.php>. – Дата доступа: 01.06.2019.
22. HaasAutomationinc. [Электронный ресурс] : компания HAAS / Сайт производителя – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://www.haascnc.com/service.html>. – Дата доступа: 01.06.2019.
23. Чепчуров, М. С. Оборудование с ЧПУ машиностроительного производства / М. С. Чепуров, Е. М. Жуков, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол : ТНТ, 2018. – 248 с. – в заявке на приобретение.
24. Сотников, В. И. Станочное оборудование машиностроительных производств : в 2-х частях. Ч. 1 / В. И. Сотников [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2018. – 416 с. – в заявке на приобретение.
25. Ефремов, В. Д. Металлорежущие станки / В. Д. Ефремов, В. А. Горохов, А. Г. Схиртладзе. – 2-е изд., стер. – Старый Оскол : ТНТ, 2018. – 696 с. – в заявке на приобретение.

26. Сотников, В. И. Станочное оборудование машиностроительных производств : в 2 ч. Ч. 2 / В. И. Сотников [и др.]. – Старый Оскол : ТНТ, 2018. – 408 с. – в заявке на приобретение.

27. IB-Group [Электронный ресурс] : обрабатывающие центры / Сайт производителя – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <http://ib-gr.ru/categories.php?id=37>. – Дата доступа: 01.06.2019.

28. Studfile [Электронный ресурс] : обрабатывающие центры / Сайт производителя – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/6277855/page:9/>. – Дата доступа: 01.06.2019.

29. Rustan : Обрабатывающие центры / Сайт производителя – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://rustan.ru/obrabatyvayushchie-centry>. – Дата доступа: 01.06.2019.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

КЛАССИФИКАТОР ПЕРЕХОДОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

№	Наименование переходов
001	<u>токарные</u> (в операциях: токарно-револьверная; токарно-карусельная; токарно-копировальная; токарная с ЧПУ; токарно-винторезная; токарно-автоматная)
002	обтачивание продольное
003	обтачивание поперечное (канавок, уступов, фасонное)
004	расточивание продольное
005	расточивание поперечное (канавок, уступов, фасонное)
006	подрезание торца
007	обтачивание программное
008	расточивание программное
009	накатывание рифлений
009	отрезание
010	<u>расточные</u> (в операциях: агрегатная; горизонтально-расточная; вертикально-расточная; координатно-расточная; алмазно-расточная; программно-комбинированная)
011	расточивание продольное резцом
012	расточивание продольное блоком (пластиной)
012	расточивание алмазное
013	<u>сверлильные</u> (в операциях: вертикально-сверлильная; горизонтально-сверлильная; радиально-сверлильная; токарно-револьверная; токарно-карусельная; токарная с ЧПУ; токарно-винторезная; токарно-автоматная; агрегатная; горизонтально-расточная; вертикально-расточная; координатно-расточная; программно-комбинированная)
014	сверление
015	рассверливание
016	зенкерование
017	развертывание
018	цекование
019	зенкование
020	глубокое сверление
020	зацентровка

№	Наименование
021	<u>фрезерные</u> (в операциях: вертикально-фрезерная; горизонтально-фрезерная; продольно-фрезерная; программно-комбинированная)
022	фрезерование плоскости торцевой фрезой
023	фрезерование паза (уступа) концевой фрезой
024	фрезерование паза (уступа) дисковой фрезой
025	фрезерование фасонной фрезой (пазов и т. д.)
026	фрезерование окон концевой фрезой
027	фрезерование круговое (ЧПУ)
028	фрезерование специальной фрезой (Т-образ. ; ласточкин хвост)
029	<u>строгально-долбежные</u> (в операциях: продольно-строгальная; поперечно-строгальная; долбежная)
030	строгание продольное
031	строгание врезное (поперечное)
032	долбление пазов (врезное)
033	долбление окон
034	<u>протяжные</u> (в операциях: горизонтально-протяжная; вертикально-протяжная; прошивочная)
035	протягивание наружное (плоскостей пазов и пр.)
036	протягивание внутреннее пазов (шпоночных)
037	протягивание круглых отверстий
038	протягивание некруглых отверстий
039	протягивание шлицевых отверстий
040	прошивание отверстий (круглых и некруглых)
041	прошивание шлицевых отверстий
042	<u>шлифовальные</u> (в операциях: круглошлифовальная; плоскошлифовальная; бесцентровошлифовальная; координатношлифовальная; ленточно-шлифовальная)
043	круглое наружное врезное шлифование
044	круглое наружное продольное шлифование
045	круглое наружное бесцентровое врезное шлифование
046	круглое наружное бесцентровое продольное шлифование
047	круглое внутреннее врезное шлифование
048	круглое внутреннее продольное шлифование
049	плоское продольное шлифование периферией круга
050	плоское продольное шлифование торцом круга
051	плоское врезное шлифование
052	планетарно-координатное шлифование
053	круглое глубинное шлифование
054	плоское глубинное шлифование
055	ленточное шлифование

№	Наименование
	<u>отделочно-абразивные</u> (в операциях: хонинговальная; суперфиниш- ная; полировальная; доводочная)
052	хонингование отверстий
053	суперфиниширование круглое наружное
054	доводка полноконтактная круглая наружная
055	доводка полноконтактная круглая внутренняя
056	доводка полноконтактная плоская
057	полирование эластичным кругом круглое
058	полирование эластичным кругом внутреннее
059	полирование эластичным кругом плоское
060	полирование шкуркой
	<u>отделочные без снятия стружки</u> (ППД) (в операциях: токарная; то- карно-револьверная; протяжная)
061	выглаживание круглое наружное
062	выглаживание круглое внутреннее
063	дорнирование
064	обкатывание круглое шариком
065	обкатывание круглое роликом
066	раскатывание круглое шариком
067	раскатывание круглое роликом
	<u>резьбообрабатывающие</u> (в операциях: токарная; токарно- винторезная; резьбофрезерная; резьбошлифовальная; резьбонакатная)
068	нарезание резьбы резцом наружное
069	нарезание резьбы резцом внутреннее
070	нарезание резьбы плашкой
071	нарезание резьбы винтовой головкой
072	нарезание резьбы метчиком
073	фрезерование резьбы дисковой фрезой
074	фрезерование резьбы групповой фрезой
075	фрезерование резьбы вихревое
076	накатывание резьбы кольцевыми роликами
077	накатывание резьбы винтовыми роликами
078	накатывание резьбы плоскими плашками
079	раскатывание резьбы бесстружечными метчиками
080	шлифование резьбы одноконтурным кругом
081	шлифование резьбы многоконтурным кругом

№	Наименование
	зубо- и шлицеобрабатывающие цилиндрических зубчатых венцов (в операциях: зубофрезерная; зубо- долбежная; зубошлифовальная; зубошевинговальная; зубопритироч- ная; зубозакругляющая)
082	зубофрезерование модульными дисковыми фрезами
083	зубофрезерование модульными концевыми фрезами
084	зубофрезерование червячными модульными фрезами
085	зубодолбление наружное круглым долбняком
086	зубодолбление внутреннее
087	накатывание зубьев
088	зубозакругление
089	снятие фасок с зубьев
090	зубошевингование дисковым шевеком
091	зубошлифование фасонное (копирование образующей)
092	зубошлифование дисковым кругом (обкатка)
093	зубошлифование тарельчатыми кругами (обкатка)
094	зубошлифование червячным кругом (обкатка)
095	зубохонингование
096	доводка (притирка) зубьев конических зубчатых венцов (в операциях: зубострогальная; зубофре- зерная; зубошлифовальная)
097	зубострогание прямозубых колес
098	зубофрезерование дисковыми модульными фрезами
099	зубофрезерование торцевой резцовой головкой круговых зубьев
100	зубошлифование круговых зубьев
	шлицевых поверхностей (в операциях: шлицефрезерная; шлицешли- фовальная)
101	фрезерование дисковыми фрезами
102	фрезерование червячными фрезами
103	шлифование одним дисковым кругом
104	шлифование раздельное (дна и боковых сторон)
	прочие
105	фрезерование наружной сферы резцовой головкой
106	фрезерование внутренней сферы
107	шлифование сферы торцом шлифовального круга
108	шабрение (плоскости, паза, направляющих)
109	закалка и низкотемпературный отпуск (HRC > 45)
110	термическое улучшение (HRC 28 – 32)
111	поверхностная закалка (HRC > 45)
112	искусственное старение (для чугуна)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
КЛАССИФИКАТОР ПОВЕРХНОСТЕЙ



Рисунок Б.1 – Классификатор типовых поверхностей вращения

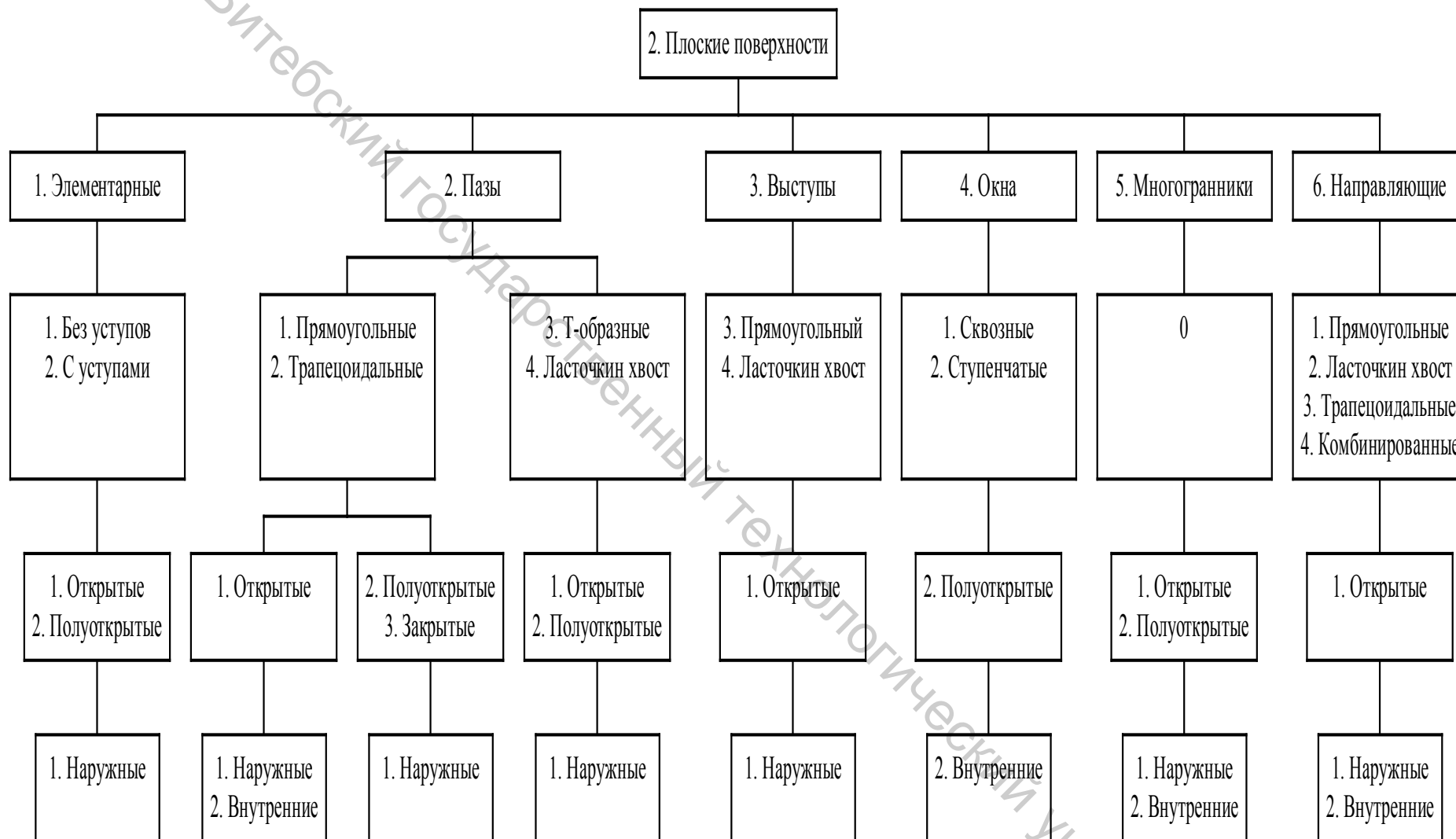


Рисунок Б.2 – Классификатор типовых плоских поверхностей

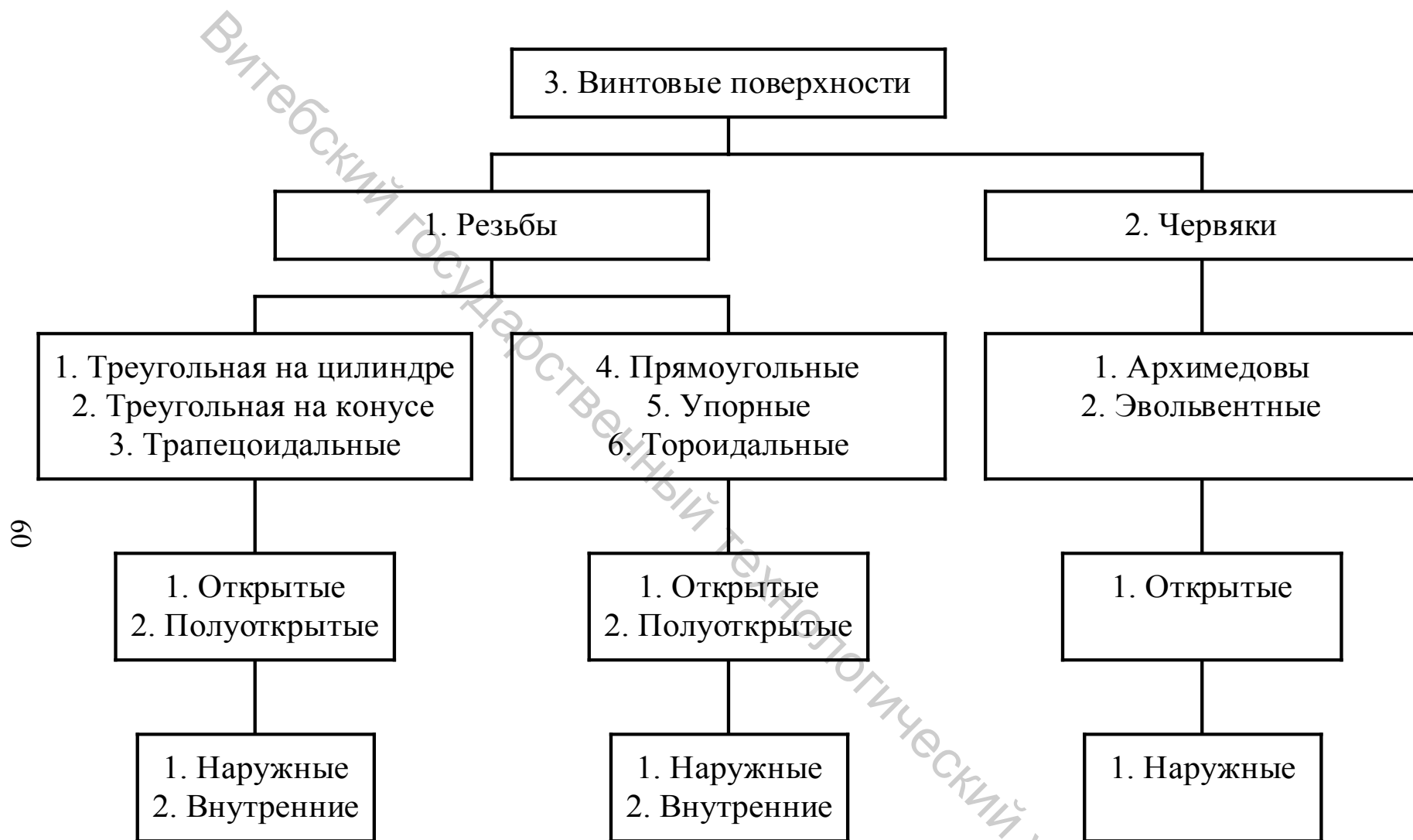


Рисунок Б.3 – Классификатор типовых винтовых поверхностей

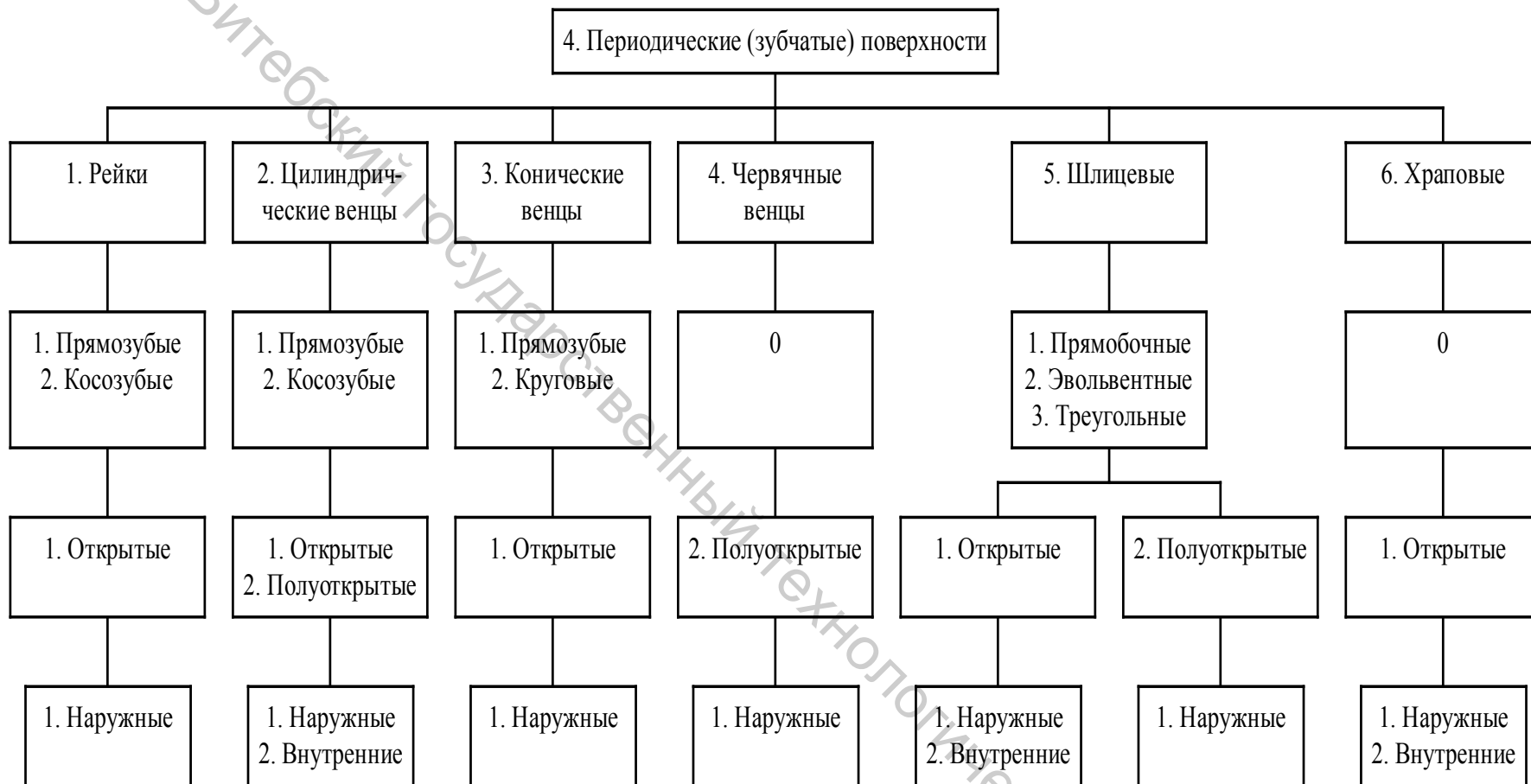


Рисунок Б.4 – Классификатор типовых зубчатых поверхностей



Рисунок Б.5 – Классификатор типовых фасонных поверхностей вращения

ПРИЛОЖЕНИЕ В

СООТВЕТСТВИЕ КОДОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ПЕРЕХОДОВ

№	Код поверхности	Коды (номера) переходов
1	2	3
1	111111	005; 043; 044; 045; 046; 061;
2	111121	005; 039; 040;
3	111122	005; 017;
4	111132	005;
5	111211	001; 002; 039; 040; 041; 042; 049; 051; 053; 054; 057; 061; 064; 065;
6	111221	001; 002; 039; 040; 041; 049; 051; 053; 054; 057; 061; 064; 065;
7	111231	01; 02; 39; 41; 61; 64; 65;
8	111212	003; 013; 014; 015; 016; 019; 020; 034; 037; 043; 044; 049; 052; 055; 058; 060; 062; 063; 066; 067
9	111222	003; 004; 013; 014; 015; 016; 017; 020; 043; 044; 055; 058; 060; 062; 066; 067
10	111232	003; 004; 043; 044; 049; 058; 060;
11	111311	001; 002; 006; 039; 040; 041; 049; 053; 054; 057; 061; 064; 065;
12	111321	001; 002; 006; 039; 040; 049; 053; 054; 057; 061; 064; 065;
13	111312	003; 004; 007; 015; 016; 018; 043; 044; 055; 058; 062;
14	111322	003; 004; 007; 015; 016; 043; 044; 055; 058; 062;
15	112121	002; 039;
16	112122	004; 043;
17	112221	002; 039;
18	112222	004; 043;
19	113121	004;
20	113221	004;
21	113321	004+003+003;
22	113421	004+003+003;
23	114121	002;
24	114122	004;
25	114221	002;
26	114222	004;
27	121111	022; 023;
28	121211	022;
29	122111	022; 023; 029; 047;
30	122121	022;
31	122112	030; 033;
32	122211	024; 029;
33	122311	027; 029; 032; 047; 050;
34	122321	027;
35	122411	027; 029; 032; 047; 050;
36	122421	027;

1	2	3
37	122111	021; 022; 023; 032; 047; 050;
38	122211	024; 027; 047; 050;
39	125011	021; 022; 023; 045; 046; 050;
40	125021	021; 022; 023; 045; 046; 050;
41	125012	030; 035; 037;
42	125022	030;
43	131111	068; 070; 071; 074; 076; 077; 078; 080; 081;
44	131121	068; 070; 071; 074; 076; 077; 078; 080;
45	131112	069; 072; 074; 079; 080;
46	131122	069; 072; 074; 080;
47	131221	068; 070; 074; 080;
48	131222	069; 072; 074; 080;
49	131311	068; 073; 075; 077; 080;
50	131321	068; 073; 075; 077; 080;
51	131312	069; 072; 079; 080;
52	131411	068;
53	131412	069;
54	131511	068; 070; 080;
55	131512	069; 072; 080;
56	131611	068; 073; 075; 080;
57	131612	069; 072; 079; 080;
58	132111	068; 073; 075; 080;
59	132211	068; 073; 075; 080;
60	141111	024; 029; 030; 032; 047; 050;
61	141211	024; 029; 030; 032; 047; 050;
62	142111	082; 083; 084; 085; 087; 088; 089; 090; 091; 092; 093; 094; 095; 096;
63	142112	086; 090; 095; 096;
64	142121	083; 085; 087; 090; 095;
65	142122	086; 090; 095;
66	142211	082; 083; 084; 087; 088; 089; 090; 091; 092; 093; 094; 095; 096;
67	142221	083; 085; 087; 090; 095; 096;
68	142212	086; 090; 095; 096;
69	132222	086; 090; 095; 096;
70	143111	097; 098;
71	143211	099; 100;
72	144021	084;
73	145111	101; 102; 103; 104;
74	145112	036; 038;
75	145121	101; 102; 103; 104;
76	145211	102; 103;

1	2	3
77	145212	036; 038;
78	145221	102; 103;
79	145311	008; 101; 103;
80	145312	036; 038;
81	145321	008; 101; 103;
82	146011	101; 103;
83	146012	030; 035;
84	151111	002; 006; 039; 041; 105;
85	151112	004; 007; 018; 043; 106; 107;
86	151211	002; 006; 039; 041; 053; 054; 057; 060; 064; 065;
87	151212	004; 007; 043; 055; 058; 060; 066; 067;
88	151221	001; 002; 006; 039; 057; 060; 064; 065;
89	151222	003; 004; 007; 043; 058; 060; 066; 067;
90	151311	001; 006; 040; 051; 057; 060; 061; 064; 065;
91	151312	003; 007; 044; 051; 058; 060; 062; 066; 067;
92	152111	002; 006; 039;
93	152121	002; 006; 039;
94	152112	004; 007; 017; 043;
95	152122	004; 007; 017; 043;
96	152211	002; 006; 039; 057;
97	152212	007; 017; 043; 058;
98	152221	002; 006; 039; 057;
99	152222	007; 017; 043; 058;
100	152311	002; 006; 039; 057;
101	152312	004; 007; 043; 058;
102	211111	005; 017; 021; 045; 046; 050;
103	211211	001; 026;
104	211212	003; 004; 010; 011; 012; 013; 014; 015; 016; 020; 043; 044; 052; 062; 066; 067;
105	211221	001; 002; 039; 048;
106	211222	003; 004; 010; 011; 012; 014; 015; 016; 026; 043; 044; 048; 062;
107	211311	002; 006; 039; 048; 061;
108	211312	004; 007; 015; 016; 018; 043; 044; 062;
109	211322	004; 007; 015; 016; 018; 043; 062;
110	212121	002;
111	212122	003; 026;
112	212222	003; 026;
113	213121	003; 026;
114	213221	003; 026;
115	213321	004+003+003; 026;

1	2	3
116	214121	002;
117	214122	004;
118	214221	002;
119	214222	004;
120	231112	072;
121	231122	072;
122	231222	072;
123	221111	021; 028; 032; 045; 046; 047; 056; 059;
124	221211	021; 028; 032; 045; 046; 047; 056; 059;
125	221221	021;
126	222111	022; 023; 029; 032; 047; 050;
127	222112	030;
128	222121	022;
129	222131	022;
130	222311	027; 029; 032; 046; 050;
131	222321	027;
132	224122	025; 31;
133	224222	025;
134	226111	021; 023; 028; 029; 045; 046; 047; 056;
135	226112	022; 023; 028; 029; 047; 050;
136	226211	024; 027; 028; 029; 047; 050;
137	226212	024; 027; 028; 029; 047; 050;
138	226311	022; 023; 028; 029; 047; 050;
139	226312	022; 023; 028; 029; 047; 050;
140	226411	022; 023; 028; 029; 046; 047;
141	226412	022; 023; 028; 029; 046; 047;
142	252112	007; 011;
143	252122	007; 011;
144	252121	006;
145	252212	004; 007;
146	262312	004; 007;
147	311111	005; 017; 021; 045; 046; 047;
148	311212	010; 011; 012; 013; 014; 015; 016; 017; 034; 037; 048; 052; 062; 066; 067;
149	311222	010; 011; 012; 013; 014; 015; 016; 017; 048; 062;
150	311221	001; 002; 026; 048;
151	311232	002; 026;
152	311312	003; 007; 014; 015; 018; 048; 055;
153	312122	004; 026; 043; 048;
154	312222	004; 026; 043; 048;
155	314122	004;

1	2	3	
156	314222	004;	
157	321111	021; 028; 032; 045; 046; 047; 050; 056; 059;	
158	321211	021; 028; 032; 045; 046; 047; 050; 056; 059;	
159	322111	022; 023; 029; 032; 047; 050; 056; 059;	
160	326311	021; 024; 028; 029; 032; 045; 046; 047; 056;	
161	326312	024; 029; 032; 047; 050; 056;	
162	331112	072; 079;	
163	331122	072;	
164	341111	022; 024; 029; 032; 047;	
165	342111	029; 036; 038;	
166	345112	029; 036; 038;	
167	345212	029; 036; 038;	
168	345312	029; 036; 038;	
169	351112	007; 017; 055; 060; 106; 107;	
Первая цифра кода		1	2
Вид детали		Тело вращения	Некруглый стержень

Учебное издание

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ
ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Методические указания к лабораторным работам

Составитель:

Беляков Николай Владимирович

Редактор *Т.А. Осипова*

Корректор *А.В. Пухальская*

Компьютерная верстка *Н.В. Беляков*

Подписано к печати 24.03.2020. Формат 60x90 $\frac{1}{16}$. Усл. печ. листов 4,2.
Уч.-изд. листов 5,3. Тираж 9 экз. Заказ № 105.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»
210038, г. Витебск, Московский пр-т, 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.