

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
имени академика С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

***РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО НАЗНАЧЕНИЮ  
РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ  
И ВЫБОРУ ИНСТРУМЕНТОВ***

*Методические указания*

САМАРА  
Издательство СГАУ  
2010

УДК 621.91.02

Составители: *М.А. Болотов, А.Н. Жидяев, Н.Д. Проничев, А.И. Хаймович*

Рецензенты: д-р техн. наук, профессор В.Н. Трусов

**Рекомендации по назначению режимов резания и выбору инструментов:** методические указания / [Хаймович А.И. и др.] – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2010. – 85 с. : ил.

**ISBN**

Изложены рекомендации по назначению режимов резания и выбору инструментов для реализации высокопроизводительной обработки. Приведены примеры выбора инструмента

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по специальностям: 160301 Авиационные двигатели и энергетические установки, изучающих курсы «Технология производства АД и ЭУ», «Технологические методы обеспечения надежности деталей ГТД», 160302 Ракетные двигатели, изучающих курсы «Технология производства РД» как пособие для курсового и дипломного проектирования.

Методические указания разработаны на кафедре производства двигателей летательных аппаратов.

УДК 621.91.02

**ISBN**

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2010

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. Основные понятия о высокоскоростной и высокопроизводительной обработке и выборе режимов резания .....	5
2. Выбор металлорежущего инструмента для высокоскоростной и высокопроизводительной обработки .....	8
2.1. Основные направления в развитии инструмента .....	9
2.2. Требования к инструменту для осуществления высокоскоростной и высокопроизводительной обработки .....	17
2.3. Выбор режущего инструмента .....	22
2.3.1. Выбор токарного инструмента .....	22
2.3.2. Выбор фрезерного инструмента .....	33
3. Пример выбора инструмента и режимов резания для фрезерной обработки корпусной детали .....	37
3.1. Выбор инструмента .....	37
3.2. Выбор режимов резания и нормирование операций .....	52
4. Пример выбора инструмента и режимов резания для токарной обработки .....	63
4.1. Анализ режущего инструмента .....	63
4.2. Выбор инструмента и режимов резания .....	74

## **ВВЕДЕНИЕ**

Важнейшим условием сохранения и развития конкурентоспособного производства является его непрерывное совершенствование. Из множества возможных путей совершенствования, технологический аспект является наиболее важным, так как именно он создает необходимые предпосылки для увеличения производительности, качества продукции, быстроты реакции ответа на запросы рынка и снижения себестоимости. Отметим, что снижение себестоимости влечет за собой повышение прибыльности и финансовой устойчивости предприятия.

Элементарным кирпичиком машиностроительной отрасли является рабочее место и как следствие, технологическая система на нем. Поэтому ее технико-экономические параметры в значительной степени определяют результативность деятельности предприятия.

Рассматривая технологические системы, в которых осуществляется металлообработка, следует отметить важнейшее направление развития – высокоскоростная и высокопроизводительная обработка. Они отличаются от традиционных подходов повышенной производительностью, точностью и качеством поверхностного слоя.

Реализация данных методов обработки осуществляется в комплексе и предъявляет определенные требования к оборудованию, инструменту, режимам резания, порядку построения операции, переходов и траекторий обработки. В данной работе обобщается информация об инструменте и режимах обработки.

# 1. Основные понятия о высокоскоростной и высокопроизводительной обработке и выборе режимов резания

В последнее время существует стойкая тенденция внедрения в машиностроительное производство высокоскоростной (HSM - High Speed Machining) и высокопроизводительной (HPM – High Productivity Machining) обработки.

Высокоскоростная обработка направлена на получение сложных форм поверхностей (поверхностная обработка, например гравюр штампов, деталей имеющих поверхности отличные от примитивных – плоскостей, цилиндров).

При лезвийной обработке материалов, которые образуют сливную стружку, у режущей кромки происходит пластическая деформация и резание материала, наблюдается процесс трения между стружкой и передней поверхностью инструмента, а также между поверхностью детали и задней поверхностью инструмента. При высокоскоростной обработке с возрастанием скорости резания коэффициент трения уменьшается. Это происходит вследствие размягчения обрабатываемого материала в зоне разреза, в некоторых случаях — до появления жидкого слоя.

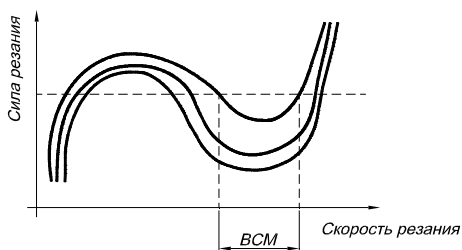


Рисунок 1.1 – Обобщенная качественная зависимость силы от скорости резания (кривые Соломона)

В ходе многих опытов было установлено, что 80% тепла образуется в зоне пластической деформации, 18% - в зоне контакта

стружка-инструмент и 2% - в зоне трения режущей кромки инструмента о материал.

Исследованиями доказано, что при правильно подобранных параметрах 75% произведенного тепла отводятся со стружкой, 20% - через инструмент и 5% через обрабатываемую заготовку.

Высокопроизводительная обработка предъявляет дополнительные требования. Как известно производительность можно измерять по объему снимаемой стружки в единицу времени ( $Q$ ), либо нормой выработки изделий за единицу времени.

Соответственно задача высокопроизводительной обработки будет формулироваться следующим образом: достижение высокой производительности за счет реализации HSM метода обработки, при сохранении точностных и качественных параметров обработки. Это достигается путем реализации следующей стратегии построения операции (рисунок 1.2):

**I черновая:** контурное HSM фрезерование, удаление материала по слоям небольшой глубины ар, высокие величины подач на зуб fz.

**II получистовая:** контурное HSM фрезерование инструментом меньшего диаметра по слоям с целью максимального выравнивания припуска под чистовую обработку.

**III доработка оставшегося материала:** окончательная обработка специальной геометрии (пазы, уступы), выравнивание припуска в зонах после получистового перехода, использование концевой инструмента в соответствии с геометрией дорабатываемых зон.

**IV чистовая:** HSM -фрезерование с максимально возможными значениями оборотов и подач (высокоскоростной шпиндель), использование фрез с минимальными вылетами и радиусами, соответствующими обрабатываемой геометрии.

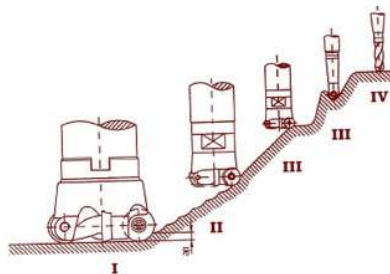


Рисунок 1.2 – Стратегия высокопроизводительной обработки

Важнейшей компонентой НРМ обработки является соблюдение предпочтительных траекторий движения инструмента.

Таким образом, основные отличия высокоскоростной и высокопроизводительной обработки от традиционной обработки заключаются в следующем:

- увеличении скорости резания и подачи;
- снижения усилий резания и температуры на режущей кромке;
- уменьшении сечения стружки;
- повышении производительности.

Отметим, что переход на HSM и НРМ методы обработки должен решаться в комплексе, затрагивая оборудование, инструмент, режимы резания, траектории обработки. Недоучет любого из названных факторов может привести к потерям преимуществ данных методов обработки или нецелесообразности внедрения в сравнении с обычными методами обработки.

## **2. Выбор металлорежущего инструмента для высокоскоростной и высокопроизводительной обработки**

Появление большой номенклатуры режущего инструмента очень остро ставит проблему оптимального выбора. Задача подбора оптимального инструмента для данных организационно – технических условий может быть достаточно трудоемкой. Вследствие этого, для снижения трудоемкости, предостережения от возможных неоптимальных решений необходимо обобщить основные ключевые моменты, которые ускоряют процесс подбора. В следующих подразделах будет описана последовательность выбора инструмента с освещением основных ключевых вопросов появляющихся на различных этапах.

Не маловажным фактором является организационный аспект. Он включает в себя информационное обеспечение технологов и инженеров – экономистов и других заинтересованных лиц необходимыми источниками данных. Обобщая основные источники данных требуемых, следует выделить наиболее важные:

- ✓ государственные стандарты;
- ✓ каталоги фирм производителей инструмента;
- ✓ электронные базы данных по инструменту;
- ✓ электронные ресурсы в сети интернет;
- ✓ технические справочники.

Анализируя перечисленные источники данных необходимо отметить то, что в условиях быстроразвивающегося рынка режущих инструментов наиболее полную и последнюю по времени информацию имеют каталоги фирм производителей инструментов, электронные базы данных по инструменту, интерактивные интернет - ресурсы. Наибольшим удобством в пользовании обладают электронные базы данных, однако в них зачастую отсутствует дополнительная техническая информация. Это проблема может быть решена дополнительным оснащением рабочего места техническими справочниками, а также подборкой требуемой информацией.

Электронные базы данных наиболее крупных фирм производителей (фирма Sandvik – [www.coroguide.com](http://www.coroguide.com)) оснащены автоматизированной системой поиска. Это значительно ускоряет и



упрощает процесс подбора, а также имеется возможность быстро формировать заказы на выбранный инструмент. Отметим Интернет ресурсы ведущих фирм производителей инструмента для высокоскоростной и высокопроизводительной обработки:

- ✓ Sandvik – [www.coromant.sandvik.com/ru](http://www.coromant.sandvik.com/ru);
- ✓ ISCAR – [www.iscar.ru](http://www.iscar.ru);
- ✓ Mitsubishi - [www.mitsubishicarbide.ru](http://www.mitsubishicarbide.ru);
- ✓ Mapal - [www.mapal.de](http://www.mapal.de);
- ✓ Kennametal – [www.kennametal.com](http://www.kennametal.com);
- ✓ Pokolm - [www.pokolm.com](http://www.pokolm.com);
- ✓ Dormer Tools – [www.dormertools.ru](http://www.dormertools.ru);
- ✓ Seco - [www.secotools.com](http://www.secotools.com);
- ✓ Prototyp - <http://www.prototyp.com>;
- ✓ Pramet - [www.pramet.com](http://www.pramet.com);
- ✓ Walter - [www.walter.com](http://www.walter.com);
- ✓ Korloy - <http://www.korloy.com>;
- ✓ Titex - <http://www.titex-prototyp.com>.

Отечественные инструментальные предприятия:

✓ КЗТС - Кировоградский завод твёрдых сплавов - [www.kzts.ru](http://www.kzts.ru);

✓ Ассоциация производителей станкоинструментальной продукции «Станкоинструмент» - <http://www.stankoinstrument.ru>.

Выбор инструментальных фирм, прежде всего, должен подчиняться принципу не увеличения инструментальной оснастки, следует учитывать сложившиеся отношения с поставщиками.

В тех случаях, когда требуется проектирование нового производства, необходимо провести сравнительный анализ инструмента различных фирм на предмет технической и экономической эффективности.

## **2.1. Основные направления в развитии инструмента**

Инструмент следует рассматривать как один из важнейших резервов повышения производительности, снижения стоимости обработки, повышения качества изделий. На протяжении всего 20 века и начала 21 происходит непрерывное улучшение инструмента, в значительной степени подвергается изменению процесс резания.

Обобщая информацию по современному инструменту, следует отметить, что совершенствование происходило главным образом по следующим направлениям:

1. геометрии режущей части.
2. материала режущей части.
3. разработки наносимых покрытий, которые придают инструменту дополнительную износостойкость, коррозионную стойкость.

4. разработки специальной оснастки.

5. разработки специальных конструкций режущего инструмента позволяющего проводить комбинированную обработку (точение, фрезерование, сверление одним инструментом).

Направления 1, 2 и 3 в значительной степени определяют процесс резания, что влияет на производительность, качество поверхностного слоя.

Как показывает практика, во многих случаях увеличение скорости резания приводит к значительной экономии в себестоимости продукции. Этот результат можно объяснить тем, что снижение машинного времени (за счет увеличения скорости резания) создает большую экономию на элементах затрат не относящихся к инструменту (например амортизации) компенсируя повышение затрат на инструмент. Это главным образом вызвано высокой стоимостью современного оборудования. Поэтому в выборе инструмента и режимов резания наблюдается тенденция к увеличению скоростей резания, что соответствует стратегии реализации высокоскоростной (HSM) и высокопроизводительной (HPM) обработки.

Рассмотрим направление 2 – режущие материалы [2]. В качестве материала режущей части инструмента используются твердые сплавы, реже быстрорежущие стали. Как известно твердые сплавы изготавливают методом порошковой металлургии из металлических твердых металлов (в первую очередь карбидов) и из вязких металлов группы сталей, которые выступают в качестве связующей основы. В качестве твердых материалов выступают карбид вольфрама (WC как основной компонент), карбид титана (TiC), карбид тантала (TaC), карбид ниобия (NbC). В качестве связующего металла выступает кобальт (Co).

Наиболее важной разработкой для повышения твердости у сплавов WC-Co являются особо и ультра - мелкозернистые твердые сплавы с зёрнами WC размером от 0,8 до 0,5мкм и содержанием Co 6-

16% по массе. Получение таких сплавов стало возможным благодаря полученным порошковым материалам соответствующего размера, формы зерен и распределения зерен по крупности. В настоящее время могут выдвигаться высокие требования к чистоте предшествующих веществ.

Очень интересной разработкой являются градиентные сплавы. Эта разработка является актуальной, так как твердый сплав должен отвечать многим требованиям. Например, поверхность инструмента в разных местах подвержена разным воздействиям – износу, изгибу, давлению и т.д. Это приводит к разработке градиентных сплавов, или сплавов с функциональной структурой на основе WC-Co с добавками TiC и/или TaC, у которых состав или микроструктура локально различается. Различие в составе и микроструктуре в свою очередь означает контролируемые вариации структурных, термических и функциональных свойств.

Кроме того, возникающие при охлаждении расплава спекания напряжения ввиду разности термических коэффициентов расширения отдельных компонентов, могут хорошо затухать из – за последовательных переходов в микроструктуре.

Изготовление градиентных структур осуществляется с управлением диффузии в контролируемой газовой атмосфере в процессе спекания, причем образование градиентных пограничных зон зависит от состава, т.е. от количества добавок TiC / TaC.

На ряду с твердыми сплавами появился новый тип сплавов – керметы. Они имеют такую же структуру, как и твердые сплавы. Содержат различные твердые частицы в связующей матрице из Co и Ni. Высокопрочные компоненты состоят не из WC и (Ti, Ta, W)C, а из карбо – нитридов титана с различным содержанием Ta, W и при необходимости Mo. В структуре обычных твердых сплавов смешанные карбиды титана присутствуют в круглой форме, карбиды вольфрама в многогранной форме. Структура керметов имеет исключительно круглую форму зерен карбонитов титана, причем для этих частиц твердых материалов характерна ядерно – периферийная структура. Преимущества керметов по сравнению с твердым сплавом [3]:

- в 2-3 раза более высокая скорость резания при той же подаче на зуб;
- больший ресурс стойкости инструмента благодаря более высокому сопротивлению износу;

- лучшая теплостойкость при работе без охлаждающей жидкости;
- лучшее качество образуемой поверхности ( $Ra = 0,4$  мкм);
- большая жесткость инструмента.

Наиболее характерно применение твердого сплава с покрытием для черновой обработки и керметов для чистовой обработки.

Наглядным обобщением качественных механических свойства инструментальных сплавов является рисунок 2.1 [3].

Большое значение приобретают покрытия на режущей части лезвийного инструмента (направление 3). Покрытия могут быть однослойными и многослойными. Применяются три технологии нанесения покрытий:

- PVD - физическое осаждение из газовой фазы;
- CVD - химическое осаждение из газовой фазы;
- PACVD - химическое осаждение из газовой фазы плазменным облучением.

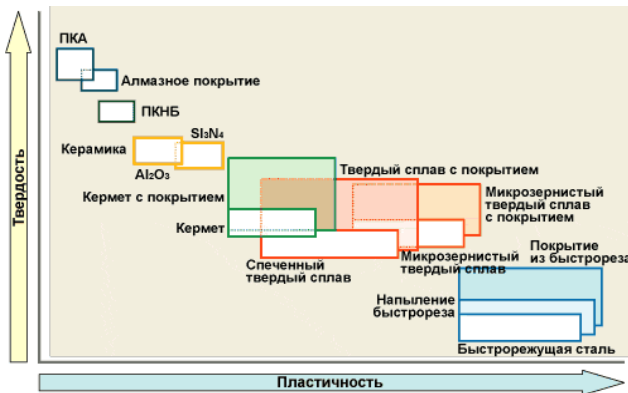


Рисунок 2.1 – Качественные механические свойства режущих материалов

Метод CVD протекает при температурах 1000 – 1100 °С. К его основному недостатку следует отнести ухудшение вязкости, вследствие возникновения термических напряжений натяжения в поверхностном слое. Однако он позволяет получать толстые слои покрытий. Используется для пластин с повышенными требованиями к износостойкости [4].

Методы PVD и плазменный PACVD, протекают при более низких температурах (400 – 500 °С) и в отличие от CVD не вносят потери вязкости в поверхностном слое. Используются для пластин с повышенными требованиями к прочности режущей кромки.

Многослойные покрытия обладают высокой неокисляемостью, износостойкостью и низким коэффициентом трения. Такие структуры состоят из комбинации обычных твердых материалов, таких как TiC, TiN, Ti(C,N) и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Подобные покрытия могут быть иногда из 10 и более слоев, причем отдельные слои могут быть тоньше 0,2мкм. При высокой скорости резания и высоких температурах они обладают хорошей износостойкостью. Такие покрытия используются преимущественно в токарной обработке стали, стального литья и чугуна при высочайших скоростях резания.

С точки зрения теплоизоляции при работе без СОЖ предпочтительными являются толстые слои с содержанием Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Дальнейшее развитие технологии нанесения покрытий CVD идет по направлению к более толстым многослойным конструкциям и многокомпонентным слоям. Для компенсации отрицательного воздействия напряжений при растяжении они комбинируются с субстратами из градиентного твердого сплава. Это твердые сплавы, которые имеют пограничные зоны толщиной до 40мкм, свободные от карбидных смесей и/или обогащенные кобальтом. Все чаще используемым дополнением к обычной технологии CVD является техника средних температур MT-CVD для осаждения карбонитных слоев. Температура осаждения здесь достигает около 800-900°С.

Дальнейшее улучшение возможностей может быть достигнуто за счет использования четверичных материалов покрытия, например (Ti, Zr) или (Ti, Hf)(C,N). Свойства этих слоев первоначально были исследованы в методе PVD. Дальнейший материал с многослойной структурой имеющий большие возможности – это Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub>/TiO<sub>x</sub>, который изготавливается путем одновременного осаждения Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub> и малых количеств TiO<sub>x</sub>.

Кроме вышеперечисленных наносимых покрытий стали появляться твердые сплавы с алмазными слоями, с прочным сцеплением. Строение алмазного слоя толщиной около 10мкм, нанесенного непосредственно на субстрат из твердого сплава, показывает хорошее сцепление и равномерность формы слоя.

Данные по современным покрытиям приведены в [4].

Направление 4 - разработка специальной оснастки стало необходимым, вследствие увеличения частоты вращения шпинделя, что предъявляет жесткие требования к дисбалансу инструмента, надежности зажима, точности настройки, высокой повторяемости размеров.

В настоящее время в станках сверлильно-фрезерно-расточной группы наиболее широко используется соединение конических поверхностей с конусностью 7:24 (рисунок 2.2). Такой конус не является самотормозящимся и позволяет легко извлекать оправку из шпинделя. Крутящий момент со шпинделя передается с помощью торцовых шпонок. Оправка удерживается в шпинделе с помощью тяги и тарельчатых пружин или затягивается винтом. Движение передается тяге или винту от гидроцилиндра или электродвигателя [5].

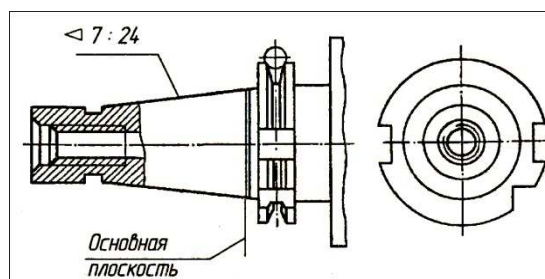


Рисунок 2.2 – Хвостовик шпиндельных оправок станков сверлильно-фрезерно-расточной группы

Однако при использовании данного типа соединения для высокоскоростной обработки был выявлен ряд недостатков:

- значительная масса и сложность балансировки;
- значительные центробежные силы, которые приводят, с одной стороны к ее выдвиганию из шпинделя и уменьшению жесткости и надежности соединения, а с другой стороны к заклиниванию в шпинделе при его резком торможении, что требует значительных усилий для ее извлечения;
- изменение условий контактирования шпинделя и оправки, вызывающие заклинивание хвостовика режущего инструмента либо, появление зазора;

- подвижки в шпоночном соединении, вызванные центробежными силами, что недопустимо при весьма высоких частотах вращения.

В связи с этим было предложено и получает все более широкое распространение соединение типа HSK- Hollow Shank Kegel (рисунок 2.3). Такое соединение имеет значительно меньшие диаметр и длину конуса (таблица 2.1.).

Таблица 2.1 – Габаритные размеры соединения типа HSK

Параметр	Значение					
Наружный диаметр $d_1$ , мм	32	40	50	63	80	100
Диаметр конуса $d_2$ , мм	24	30	38	48	60	75
Длина конуса $l_1$ , мм	16	20	25	32	40	50

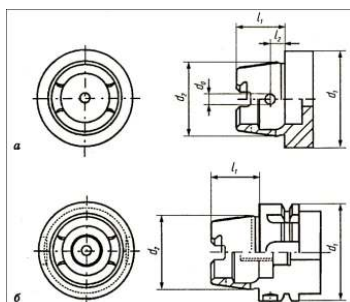


Рисунок 2.3 – Хвостовик типа HSK: а – для ручного крепления; б – для автоматического крепления

В отличие от конусов 7:24 данное соединение имеет контакт оправки со шпинделем станка по двум поверхностям в сочетании с зажимом оправки изнутри:

- конической поверхности короткого конуса;
- плоской поверхности фланца.

Оно имеют небольшую массу, короткое исполнение конуса при высокой жесткости, конусность 1:10. При этом достигается высокая повторяемость размеров при смене инструмента, как в радиальном, так и в осевом направлениях  $\pm 0,001$  мм, высокая надежность соединения.

В станках токарной группы широко используется присоединение инструмента к револьверной головке или резцедержателю с помощью цилиндрического хвостовика (рисунок 2.4).

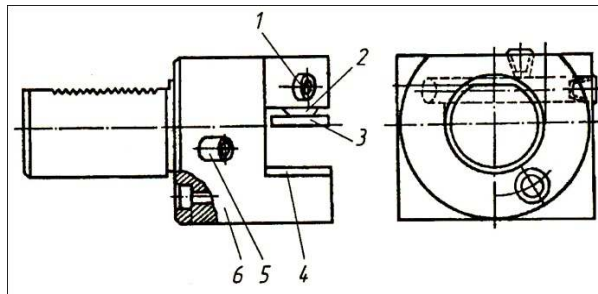


Рисунок 2.4 – Резцедержатель с цилиндрическим хвостовиком к станам токарной группы

Резцедержатель базируется по цилиндрической поверхности, обеспечивающей точную угловую установку инструмента. Крепление хвостовика осуществляется с помощью сухаря или клина, имеющего рифления, смещенные относительно рифленого хвостовика.

Для установки резца на высоте центров служит подкладка 4. Резец крепят с помощью винтов 2 и прижимной планки 3. Подача СОЖ в зону резания осуществляется через канал в корпусе 6, образованный пересекающимися отверстиями оканчивающийся соплом 1, позволяющим регулировать направление подачи СОЖ. Для облегчения настройки резца на размер в корпусе установлены под углом  $45^{\circ}$  друг к другу два регулировочных винта 5.

Для сокращения количества инструмента применяют блочно-модульные системы. Такие инструменты выполняют составными из отдельных элементов (модулей): базовых хвостовиков, переходников и элементов для базирования и закрепления режущего инструмента (держателей инструмента), из которых komponуют необходимые конструкции. Более подробную информацию о компонентах таких систем можно узнать из каталогов фирм производителей инструмента.

Отдельно следует выделить соединения на основе тепловой посадки. Патроны с тепловой посадкой обеспечивают:

- высокую надежность закрепления;



- сравнительно меньшие центробежные силы (так как оно менее массивно по сравнению с механическим закреплением);
- высокую точность закрепления.

К недостаткам такого соединения следует отнести большое время на закрепление-раскрепление инструмента. Соединение на основе тепловой посадки используется как промежуточное между шпindelными оправками и непосредственно режущим инструментом.

Направление 5 характеризуется появлением комбинированного инструмента.

Под комбинированным инструментом понимается инструмент, совмещающий при одном рабочем ходе обработку нескольких поверхностей одним методом (например, сверление ступенчатого отверстия) или инструмент, совмещающий обработку нескольких поверхностей разными методами за несколько рабочих ходов (например, сверление отверстия и фрезерование резьбы в нем). Отдельную группу составляют комбинированные инструменты, в которых как минимум один режущий элемент является управляемым. Фактически это означает наличие в инструменте, по крайней мере, одной управляемой оси, что предъявляет соответствующие требования к системе управления станка и шпинделю.

Применение такого инструмента позволяет существенно сократить оперативное время, как за счет машинного, так и за счет вспомогательного. Так в случае обработки несколько поверхностей за один ход оперативное время уменьшается кратно количеству одновременно обрабатываемых поверхностей. Поскольку отпадает необходимость в нескольких сменах инструмента и происходит одновременная обработка нескольких отверстий.

## **2.2. Требования к инструменту для осуществления высокоскоростной и высокопроизводительной обработки**

В связи с реализацией качественно иного процесса резания, возрастают требования к режущему инструменту. Приведены в работе [2]:

1. Биение менее 3 мкм и минимальный вылет с максимальной жесткостью закрепления. По некоторым данным существует практически линейная зависимость износа от биения инструмента при

высоких скоростях резания. К примеру, биение величиной 10 мкм соответствует быстрому износу кромки инструмента на те же 10 мкм.

2. Обеспечение минимальной длины контакта инструмента с обрабатываемой деталью для снижения сил резания и риска возникновения вибрации.

3. Применение конических хвостовиков увеличенного размера, особенно для мелкогабаритного инструмента.

4. Использование мелкозернистых твердых сплавов с покрытием рабочих поверхностей для повышения износостойкости.

5. Наличие в инструменте отверстий для внутреннего подвода охлаждающей жидкости или сжатого воздуха.

6. Специальная геометрия режущей части при высокоскоростной обработке.

7. Применение инструментов симметричной формы. Так например в случае конструкции инструмента с одним зубом возникают отжатия, приводящие к потере точности. Для компенсации этого эффекта на противоположной стороне устанавливается второй зуб, что приводит к компенсации отжимающих усилий.

8. Инструмент со сменными пластинами должен иметь конструктивно обеспеченную сбалансированность и высокую точность посадки режущих пластин в гнезда в целях обеспечения минимального биения. Максимальный разброс точности пластин — 10 мкм.

9. Концевая монолитная фреза должна иметь три канавки (с таким числом зубьев эта фреза становится наиболее пригодной для выполнения высокоскоростной обработки).

10. Следует выбирать фрезы с закругленной режущей кромкой для уменьшения вибрации.

11. Фреза должна иметь максимально короткий вылет из всех возможных. Отношение длины консоли фрезы к диаметру не должно в общем случае быть больше 5.

12. Фреза должна быть твердосплавной, поскольку такие фрезы обладают большей жесткостью по сравнению с быстрорежущими, что обеспечивает более высокую стойкость и, следовательно, ведет к существенному экономическому эффекту [9].

13. Следует избегать малых радиусов закругления вершин режущих кромок инструмента, хотя для выполнения некоторых проходов требуются именно такие радиусы. По возможности нужно применять фрезы со скругленными режущими кромками, поскольку

при напряженных режимах резания острые углы быстро изнашиваются и режущая кромка сминает металл, а не режет его.

14. Необходимо выбрать как можно больший угол наклона винтовой канавки инструмента, измеряемый от его осевой линии, но не превышающий  $35^\circ$ , в противном случае начинает резко увеличиваться сила растяжения, воздействующая на инструмент в процессе резания.

Следует также отметить особенности назначения режимов резания и выбора траектории движения инструмента [2].

1. В значительной степени на износ инструмента влияет высокочастотная вибрация. Центробежная сила не отбалансированного патрона является квадратичной функцией частоты вращения шпинделя, поэтому вызываемая дисбалансом вибрация при высоких скоростях вращения шпинделя может достигать недопустимых значений. Не рекомендуется применять при высокоскоростной обработке шпиндели с гидравлическим зажимом, так как характерный для этой конструкции механизм зажима и гидравлический цилиндр утяжеляют корпус патрона и затрудняют контроль вибрации в нем [9].

2. Лучшие результаты по стойкости инструмента наблюдаются при обдувке шпинделя (по сравнению с подачей СОЖ под давлением). Поскольку большая часть теплоты, выделяемой при резании, концентрируется в стружке, то необходимо быстро удалить ее из зоны резания. Низкая стойкость инструмента при охлаждении объясняется главным образом выкрашиванием в результате циклических нагрузок на режущую кромку инструмента [11]. СОЖ, используемая главным образом для уменьшения трения в процессе резания, попадая непосредственно в зону резания, под воздействием высоких температур превращается в пар или туман, затрудняя тем самым быстрый отвод стружки, а попадая на свободные в данный момент времени зубья фрезы, вызывает циклическое ударное тепловое воздействие.

3. Следует соблюдать дугообразную траекторию движения инструмента [11] в отличие от ломаной с углами, при которой сохраняется непрерывный и равномерный контакт с заготовкой.

Это объясняется тем, что при движении по ломанной траектории станку требуется компенсирование инерционных сил, при резких поворотах. Для этого ему требуется постепенное торможение и последующий за ним разгон, что в целом снижает величину подачи и

соответственно увеличивает время обработки. Кроме того, режим разгона – торможения создает неравномерные усилия резания, которые могут привести к поломке инструмента.

Дугообразная траектория движения инструмента обеспечивается стратегией высокопроизводительной обработки. Так как первые три этапа в целом производят выравнивание припуска, постепенное приближение к форме детали и на каждом этапе происходит снижение диаметра инструмента.

4. Следует стремиться к резанию образующей фрезы вместо фрезерования торцовыми зубьями, так как окружная скорость прямо пропорциональна радиусу инструмента и даже при высокой скорости вращения шпинделя она равна нулю в центре фрезы. К тому же при торцовом фрезеровании отвод стружки затруднен, что очень негативно сказывается на процессе резания.

5. Сила резания в направлении оси Z при увеличении скорости вращения шпинделя не уменьшается. Врезание фрезы в обрабатываемый материал при большой подаче создает большое напряжение в инструментальном патроне и шпинделе и, вероятней всего, приведет к повреждению инструмента. Необходимо избегать вертикального врезания инструмента в материал (за исключением мягких материалов).

6. Подвод режущего инструмента на величину прохода по оси Z рекомендуется проводить в воздухе, а врезание в материал — в горизонтальном направлении по дугообразной траектории. Желательно и выход инструмента из материала осуществлять по дуге. При обработке карманов рекомендуется врезание по спирали, причем угол наклона спирали должен быть менее  $2^\circ$ . Чем тверже материал, тем меньше должно быть значение угла врезания. Например, при обработке стали твердостью 62...5 HRC рекомендуется задавать угол врезания не более  $0,5^\circ$ .

7. Попутное фрезерование рекомендуется и для предварительной, и для окончательной обработки. Во-первых, улучшается качество поверхности и происходит оптимальный отвод стружки. Во-вторых, существенно возрастает стойкость фрезы. Современные инструменты из твердого сплава лучше сопротивляются силам сжатия (что характерно для попутного фрезерования), нежели растяжения. При встречном фрезеровании толщина стружки увеличивается от нуля до максимума, что способствует выделению большого количества теплоты, поскольку режущая кромка движется с большим трением.

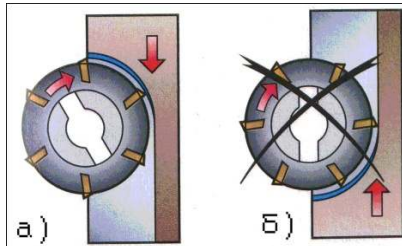


Рисунок 2.5 – Направление фрезерования: а – попутное; б – встречное

8. Необходимо сократить число врезаний инструмента для уменьшения количества стружки и снятия напряжения в режущем инструменте.

9. Желательно, чтобы радиус фрезы для окончательной обработки был меньше радиуса угла врезания — траектория инструмента в этом случае будет более плавной.

10. Необходимо контролировать процесс удаления стружки, поскольку вместе со стружкой отводится теплота из зоны резания. Очень важно контролировать процесс стружкообразования и удаление стружки, особенно при обработке глубоких отверстий, иначе режущие кромки инструмента будут повреждены. Необходимо избегать попадания стружки в зону резания.

11. Желательно осуществлять предварительную обработку фрезами большого диаметра и оставлять припуск в углах для последующей доработки. Обработка углов с маленькими радиусами должна проводиться инструментом малого диаметра, который не является в достаточной мере жестким для удаления большого количества материала, особенно когда инструмент имеет большой вылет.

12. При разработке управляющих программ для станков с ЧПУ желательно использовать функцию САМ-системы "аппроксимация дугами". Она служит для преобразования нескольких линейных сегментов траектории в одну дугу, что позволяет сократить время на обработку и обеспечить постоянство рабочей подачи.

13. Предварительная обработка глубоких отверстий с наклонными стенками более предпочтительна, так как ее можно выполнить с большей рабочей подачей и при этом уменьшится износ инструмента. При обработке вертикальных стенок концевая фреза

режет всей образующей и резание осуществляется с большими силами.

14. При окончательной обработке сферической фрезой желательно обеспечить некоторый угол между осью фрезы и нормалью к обрабатываемой поверхности.

15. Предварительную обработку наиболее предпочтительно осуществлять концевыми фрезами с небольшим радиусом (до 1 мм) на торце.

16. Целесообразно осуществлять процесс черного фрезерования сборными фрезами со вставками из твердого сплава или монолитными фрезами из твердого сплава.

## **2.3. Выбор режущего инструмента**

Выбор инструмента различных групп (токарного, фрезерного, сверлильного) имеет сходства по своей сути (обусловленные общей сущностью процессов резания), однако присутствуют и отличия, обусловленные спецификой метода обработки. В связи с этим выбор инструмента различных групп различают. Рассмотрим выбор каждого из перечисленных типов инструмента отдельно. Исходные материалы представлены в [13].

### **2.3.1. Выбор токарного инструмента**

Для решения задачи выбора необходимо определить влияющие факторы, приведем их.

1. **Форма детали и требования по точности и чистоте обработки** определяют траекторию движения инструмента и последовательность переходов при выполнении различных операций. Точность и требуемая шероховатость обработанной поверхности влияют на выбор геометрии режущей пластины, величины подачи и скорости резания.

2. **Тип выполняемой операции** - черновое, получистовое или чистовое точение, нарезание резьбы, обработка канавок, отрезка и т.п. Тип выполняемой операции влияет на выбор режущей пластины, резца, параметров режима резания, обеспечивающих требования, предъявляемые к обработке.

3. **Тип обработки** - наружная обработка или расточка отверстий. Данные операции выполняются различными пластинами и резцами.

Револьверные головки токарного станка имеют ограниченное количество позиций для размещения инструмента, и при большом числе выполняемых переходов возникает необходимость в подборе такого инструмента, который был бы способен выполнять обработку более чем за один переход.

**4. Жесткость системы и условия обработки** - основные факторы, определяющие производительность операции и выбор инструмента. При прерывистом резании повышенные требования предъявляются к геометрии пластины, марки твердого сплава и закреплению режущей пластины на корпусе державки. Если наблюдается склонность к вибрациям, то большое внимание следует уделять размеру и вылету инструмента, а также жесткости закрепления как инструмента, так и заготовки.

**5. Станки** в значительной степени отличаются по конструкции, размерам, мощности и технологическим возможностям. Многие токарные станки имеют небольшую мощность и могут производить только определенные виды обработки, используя определенный тип инструмента. Необходимо знать способ закрепления инструмента, посадочные размеры и количество позиций револьверной головки.

**6. Материал заготовки:** углеродистая и легированная сталь (P), нержавеющая сталь (M), чугун (K), алюминиевые сплавы (N), жаропрочные сплавы (S) и материалы высокой твердости (H) представляют основные группы обрабатываемых материалов по ISO. При обработке они образуют, соответственно, сливную стружку, стружку скалывания или элементную стружку, что является важным фактором, который надо учитывать для правильного выбора инструмента.

**7. Экономическая эффективность и производительность** - важнейшие факторы при выборе инструмента. Доля расходов на инструмент в общей себестоимости обработки составляет всего несколько процентов, однако влияние инструмента на производительность, надежность, простои оборудования, качество обработки значительно больше и от выбора инструмента, в основном зависят эти показатели.

**8. Номенклатура инструмента** используемого на предприятии также влияет, поскольку ее стараются не увеличивать.

Последовательность выбора инструмента может быть разной в соответствии с конкретной ситуацией. Так часто заранее могут быть известны размер и способ крепления пластины. Приведем общую

последовательность выбора с начального момента, когда не известны никакие данные [12].

1 Этап – **выбор системы крепления пластины**, зависит от типа пластин - с задними углами или без задних углов, от типа операции, размеров державки и заготовки, параметров режима резания для чернового, получистового или чистового точения.

Выбор величины заднего угла у пластин обусловлен следующей зависимостью. Увеличение заднего угла снижает возможность износа по задней поверхности, однако снижает прочность режущей кромки. Поэтому задний угол следует уменьшать в случаях:

- ✓ твердого материала заготовки;
- ✓ требуется прочность режущей кромки;
- ✓ достаточно большой жесткости технологической системы, так как усилия резания увеличиваются.

Увеличивать задний угол следует в случаях:

- ✓ мягкий материал заготовки;
- ✓ не требуется особых усилий для обработки заготовки;
- ✓ малой жесткости технологической системы, так как усилия резания снижаются.

Наиболее распространенный способ крепления пластин без задних углов - рычагом - система Р.

Рычаг поджимает режущую пластину к базовым поверхностям гнезда при закреплении и выдвигает ее из гнезда при раскреплении. Существуют различные модификации этого способа – в том числе, крепление клином.

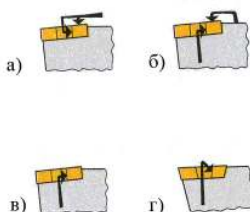


Рисунок 2.6 – Р система крепления пластин: а – система D; б – система М; в – система Р; г – система S

Другой широко применяемый способ - крепление винтом через отверстие пластин с задними углами - система S. Этот способ применяется для державок небольших размеров для наружного



точения при выполнении ненагруженных операций и для расточных оправок и борштанг.

Система крепления пластин М – прижим сверху и поджим за отверстие. В системе D производится крепление прижимом сверху и поджимом за отверстие она обладает большей жесткостью по сравнению с М.

Отметим основные области применения типов крепления пластин [14]. Системы крепления Р и М используются в основном при прерывистом резании, при черновой обработке. Система S используется при чистовой отделочной обработке, особенно для обработки малогабаритных деталей с небольшими глубинами резания. Система D используется для обработки детали по контуру, когда условия резания меняются в широких пределах от продольного точения к торцевому.

2, 3 Этап – **выбор типоразмера державки и формы пластины.** Выбор державки и пластины зависит, главным образом, от профиля обрабатываемой поверхности и определяется главным и вспомогательным углами в плане. В зависимости от выбранной ранее системы крепления, принимая во внимание возможные направления подачи инструмента, можно сделать выбор необходимого типа державки и формы пластины. Существуют следующие пластины с углами в плане при вершине  $80^{\circ}$ ,  $55^{\circ}$ , круглая,  $90^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $80^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$ ,  $55^{\circ}$ . В каталогах предоставлены таблицы, в которых указаны соответствия пластин с определенными углами виду обработки.

Для обеспечения жесткости следует выбирать державку наибольшего из возможных сечений и пластину с наибольшим углом при вершине для обеспечения наибольшей надежности.

В первую очередь следует попытаться использовать уже имеющийся на складе инструмент, а при выборе нового стараться не увеличивать номенклатуру.

4, 5 Этап – **выбор геометрии пластины и марки материала режущих пластин.** Выбор пластины зависит от группы обрабатываемого материала (Р, М, К, N, S, H), типа операции (чистовая, получистовая и черновая) и условий обработки (хорошие, нормальные и тяжелые). Дополнительно необходимо знать должна ли быть пластина с задними углами или без задних углов, двусторонней или односторонней. В некоторых случаях за счет правильного выбора геометрии пластины можно повысить точность и чистоту обработки, избавиться от заусенцев. При правильном выборе режущей пластины можно гарантировать определенную стойкость и выполнение

операции без непредвиденных остановок. Следует учитывать уже применяемую номенклатуру инструмента, число позиций, где используются пластины, мощность оборудования. Современные режущие пластины, хотя и являются более специализированными, но на практике нередко позволяют уменьшить номенклатуру пластин на складе, поскольку пригодны для выполнения большего числа операций в пределах своей области применения. В каталогах по выбранному типу крепления пластин далее следуют рекомендации по геометрии пластин и марке сплава пластин. Выбор марки сплава режущих пластин осуществляется по диаграммам соответствия марки обрабатываемого материала и марки материала режущих пластин.

6 Этап – **выбор размера пластины**. Размер пластины зависит от размера посадочного гнезда державки. Если размер инструмента, главный угол в плане и форма пластины заданы, то фактически размер пластины уже определен. Но если выбор размера пластины поставлен на первое место и определяет выбор державки, то сначала определяется максимальная глубина резания, а затем по величине главного угла в плане необходимая эффективная длина режущей кромки. После чего, с учетом коэффициента, определяемого главным углом в плане, выбирают размер пластины.

При черновой обработке, когда резание прерывистое и наблюдается тенденция к вибрациям, следует обращать внимание на условия входа и выхода инструмента из заготовки, чтобы избежать нежелательных ударов по режущей кромке и дополнительного давления на заготовку при выходе, приводящего к выкрашиванию режущей кромки. При обработке торцов требования к режущей кромке значительно увеличиваются, поскольку глубина резания одномоментно существенно возрастает. В этом случае надо выбирать пластину большего размера, менять направление и уменьшать подачу, чтобы избежать значительных увеличений усилий резания.

Таблица 2.2 – Необходимая эффективная длина режущей кромки  $l_a$ , мм

Главный угол в плане	Глубина резания, мм											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	
90	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	
105	75	1,5	2,1	3,1	4,1	5,2	6,2	7,3	8,3	9,3	11	16
120	60	1,2	2,3	3,5	4,7	5,8	7	8,2	9,3	11	12	18
135	45	1,4	2,9	4,3	5,7	7,1	8,5	10	12	13	15	22
150	30	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30
165	15	4	8	12	16	20	24	27	31	35	39	58

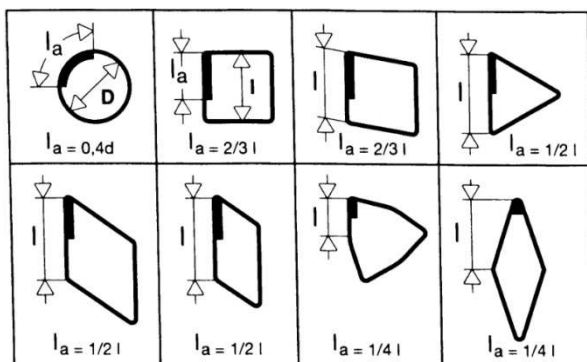


Рисунок 2.8 – Форма поверхности и эффективная длина режущей пластины

7 Этап - **величина радиуса при вершине пластины** очень важна при черновой обработке с точки зрения прочности режущей кромки, а при чистовой обработке - с точки зрения получения требуемой шероховатости поверхности. В обоих случаях радиус при вершине тесно связан с величиной подачи, поэтому выбирать его надо, учитывая подачу.

Большой радиус при вершине делает режущую кромку более прочной, но при этом требуется большая мощность станка и возрастает опасность вибраций. Обрабатываемый материал и условия обработки также влияют на выбор радиуса при вершине пластины. При растачивании меньший радиус при вершине уменьшает вибрации и позволяет работать с большими вылетами инструмента.

При черновой обработке следует выбирать пластину с максимально возможным радиусом при вершине. Чем больше радиус при вершине, тем выше прочность и стойкость пластины, что позволяет вести обработку с большими величинами подач. И все же, в большинстве случаев, величина подачи не должна превышать половины значения радиуса при вершине:

$$fn = 0,5 \cdot r_{\varepsilon},$$

где  $fn$  – подача, мм/об;

$r_{\varepsilon}$  – радиус при вершине пластины, мм.

Для черновой обработки наиболее часто применяются пластины с радиусами 1,2 ... 1,6мм. Несколько большие величины подач можно рекомендовать для:

- прочных пластин с углом при вершине более  $60^{\circ}$ ;
- односторонних пластин;
- обработки с главным углом в плане меньше  $90^{\circ}$ ;
- материалов с хорошей обрабатываемостью при средних скоростях резания.

При чистовом точении чистота обработанной поверхности зависит от соотношения радиуса при вершине и подачи, выражается следующим соотношением:

$$R_{\max} = \frac{fn^2}{8 \cdot r_{\varepsilon}} \cdot 1000,$$

где  $R_{\max}$  – величина микронеровностей, мкм.

По данной зависимости можно ориентировочно определить величину микронеровностей, по рекомендуемым режимам резания для пластин указанных в каталоге.

В каталогах часто пользуются понятием теоретическая микронеровность  $R_{\max}$ . Связь параметров шероховатости представлена в табл. 3 по материалам фирмы Sandvick.

Для обеспечения наилучших показателей качества обработанной поверхности рекомендуется использовать зачистные пластины с технологией Wiper. Пластины выполненные по технологии Wiper имеют специальную геометрию заключающуюся в нескольких плавно сопряженных радиусах. Следует отметить отсутствие необходимости коррекции размеров наладки, для получения точного профиля детали.

Благодаря данной геометрии могут достигаться практически вдвое меньшие величины микронеровностей при тех - же подачах по сравнению с пластинами не имеющих геометрию Wiper. Поэтому

данная технология позволяет либо ускорить процесс обработки за счет увеличения подачи, либо улучшить качество поверхности при той же величине подачи.

8 Этап – **выбор параметров режима резания.** В каталогах и базах данных представлены начальные значения и рекомендуемые диапазоны параметров режима резания для всех групп обрабатываемых материалов. Чтобы определить параметры режима резания, нужно учитывать несколько основных условий. На стойкость инструмента практически не влияет глубина резания, только частично - величина подачи, в то время, как скорость резания влияет на стойкость в значительной степени.

Таблица 2.3 – Взаимосвязь параметров шероховатостей

Ra = CLA = AA, мкм	Rz, мкм	Rmax, мкм	Уровень шероховатости	Символьное обозначение		
0,30	1,6	0,33	N5	AA	AA	AA
0,35	1,8	0,39				
0,40	2,0	0,44				
0,44	2,2	0,49				
0,49	2,4	0,54				
0,53	2,6	0,59				
0,58	2,8	0,64				
0,63	3,0	0,70				
0,71	3,5	0,79				
0,80	4,0	0,89				
0,90	4,5	1,0				
0,99	5,0	1,1				
1,2	6,0	1,3				
1,4	7,0	1,5				
1,6	8,0	1,8				
1,8	9,0	2,0	N7	AA	AA	AA
2,0	10,0	2,2				
3,2	15,0	3,1				
4,4	20,0	4,9				
5,8	25,0	6,4	N8	AA	AA	AA
6,3	27,0	7,0				
7,4	30,0	8,2	N9	AA	AA	AA
8,8	35,0	9,8				
10,7	40,0	11,9				
12,5	45,0	13,9				
14,0	50,0	15,5	N10	AA	AA	AA

При выборе режимов резания отличающихся от рекомендуемых следует вносить поправки на стойкость в виде коэффициентов зависящих от отклонения скорости, подачи и твердости от рекомендуемых значений и принятых по умолчанию (твердость). По умолчанию без внесения поправок за исходную стойкость принимается стойкость равная 15 минутам. Реальная стойкость инструмента может быть подтверждена испытанием.

Соотношение параметров режима резания в значительной степени зависит от типа выполняемой операции. Для черновых операций мощность, жесткость системы станок – приспособление – инструмент – заготовка и условия обработки являются основными факторами, влияющими на выбор параметров режима резания.

Для чистовых операций критериями выбора являются точность, шероховатость обработанной поверхности и стружкообразование, которые зависят от сочетания подачи, радиуса при вершине пластины и скорости резания. Скорость резания является основным фактором, определяющим производительность при чистовой обработке.

При обработке на станках с ЧПУ критичным фактором является форма стружки. Необходимым условием нормального функционирования оборудования в автоматическом режиме является беспрепятственное удаление стружки из зоны резания. Чаще всего удаление стружки производится с помощью транспортера, на который она попадает из зоны обработки. В связи с этим не следует допускать сливной формы стружки, так как она может вызвать накопление и заклинивание как самого механизма отвода стружки, так и подвижных элементов станка. Наиболее оптимальной формой стружки является вид небольших завитков или запятых. Для каждой режущей пластины существуют диаграммы стружколомания. Эти диаграммы построены в координатах подача – глубина резания (вид диаграммы представлен на рисунок 2.8). На них выделена определенная область, в пределах которой находится множество сочетаний значений подач – глубин резания, при которых обеспечивается удовлетворительное стружколомание. В соответствии с этим выбираемые режимы резания должны находиться внутри очерченной области.

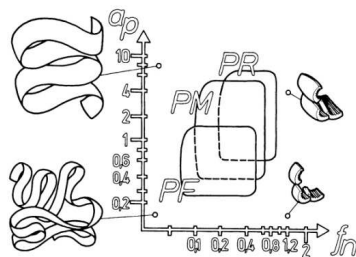


Рисунок 2.8 – Вид диаграммы стружколомания режущей пластины

При назначении параметров режима резания должны учитываться следующие факторы:

- стойкость инструмента;
- обрабатываемый материал;
- геометрия пластины и марка твердого сплава;
- возможности оборудования, т.е. мощность, жесткость, частота вращения шпинделя;
- выделение тепла и склонность к наростообразованию;
- условия обработки: прерывистое резание и вибрации;
- стружкообразование и чистота обработки;

Расчет режимов резания может быть произведен при помощи электронного каталога. Отметим основные соотношения, которые встречаются при расчете режимов резания при точении.

Объемная производительность:

$$Q = V_c \cdot a_p \cdot fn,$$

где  $a_p$  – глубина резания, мм;

$fn$  – подача, мм/об.

Потребная мощность:

$$P_c = \frac{V_c \cdot a_p \cdot fn \cdot k_s}{60 \cdot 10^3},$$

где  $P_c$  – потребная мощность резания, Вт;

$k_s$  – удельная сила необходимая для снятия стружки, Н/мм<sup>2</sup> (таблице 4 на следующей странице [3]);

$kg$  – главный угол в плане, град.

При сопоставлении рассчитанной потребной мощности с мощностью станка необходимо учитывать коэффициент полезного действия шпинделя станка.

Время резания при постоянной частоте вращения:

$$T_c = \frac{L_m}{fn \cdot n},$$

где  $L_m$  – длина обработки, мм.

Время резания при постоянной скорости резания:

$$T_c = \frac{L_m}{fn \cdot \bar{n}},$$

где  $\bar{n}$  – средняя частота вращения шпинделя, об/мин.

$$\bar{n} = \frac{V_c \cdot 10^3}{2 \cdot \pi} \left( \frac{1}{D_{m1}} + \frac{1}{D_{m2}} \right)$$

где  $D_{m1}$ ,  $D_{m2}$  – соответственно наружный и внутренний диаметры обработки представленные на рис. 13;

$V_c$  – скорость резания, м/мин.

Обозначение пластин и инструментальной оснастки проводится по стандарту ISO, расшифровку которого можно найти в общих каталогах.

Таблица 2.4 – Удельная сила резания различных материалов

Обрабатываемый материал	Предел прочности, Н/мм <sup>2</sup> и твердость	Удельная сила резания материала $K_s$ (Н/мм <sup>2</sup> )				
		0,1(мм/об)	0,2(мм/об)	0,3(мм/об)	0,4(мм/об)	0,6(мм/об)
Мягкая малоуглеродистая сталь	520	3610	3100	2720	2500	2280
Среднеуглеродистая сталь	620	3080	2700	2570	2450	2300
Твердая сталь	720	4050	3600	3250	2950	2640
Инструментальная сталь	670	3040	2800	2630	2500	2400
Инструментальная сталь	770	3150	2850	2620	2450	2340
Хромомарганцевая сталь	770	3830	3250	2900	2650	2400
Хромомарганцевая сталь	630	4510	3900	3240	2900	2630
Хромомolibденовая сталь	730	4500	3900	3400	3150	2850
Хромомolibденовая сталь	600	3610	3200	2880	2700	2500
Никельхромомolibденовая сталь	900	3070	2650	2350	2200	1980
Никельхромомolibденовая сталь	352НВ	3310	2900	2580	2400	2200
Твердый чугун	46HRC	3190	2800	2600	2450	2270
Серый чугун	200НВ	2110	1800	1600	1400	1330

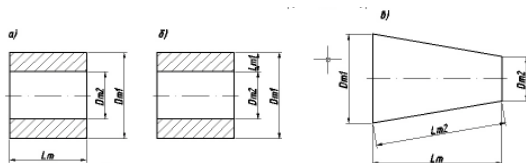


Рисунок 2.9 – Геометрические параметры при различных видах обработки: а - наружное точение; б – подрезка торца; в – точение конусной поверхности



### 2.3.2. Выбор фрезерного инструмента

Фрезерным инструментом обрабатываются следующие основные виды поверхностей: плоскости, поверхности с прямоугольными уступами, канавки, пазы, полости, фаски, фасонные профили. Для каждого сочетания обрабатываемого материала и конфигурации детали обычно можно выбрать несколько вариантов инструмента.

При выборе фрезы необходимо учитывать следующие факторы:

1. размеры и конфигурация поверхностей подлежащих обработке и требования к ним;
2. жесткость детали и приспособления для ее закрепления;
3. необходимый вылет инструмента;
4. тип обрабатываемого материала, твердость и состояние;
5. наличие предварительной обработки как механической, так и термической.

Характеристики станка, которые следует проанализировать:

- число оборотов шпинделя, величины подач, крепление инструмента, мощность;
- точность перемещения по осям;
- возможные ограничения.

Выбор фрезерного инструмента осуществляется в следующей последовательности.

1 Этап – по обрабатываемому материалу, типу обработки **выбирается тип и конструкция фрезы**. Тип обработки определяется получаемыми поверхностями, которые приведены в каталогах на рисунках. В каталогах приводятся пояснения относительно преимуществ и недостатков типа и конструкции фрез. Поясним особенности выбора основных геометрических параметров фрез.

Выбор главного угла в плане обусловлен следующими особенностями. Угол в плане  $90^0$  – выбирается:

- обработке тонкостенных заготовок;
- в случае нежесткого закрепления заготовок;
- при обработке прямоугольных уступов.

При данном угле в плане преобладают усилия резания направленные радиально к оси фрезы, осевые усилия достаточно малы.

Угол в плане 45, выбирается:

- для операций общего назначения;

- при больших вылетах инструмента для уменьшения вибраций;
- для уменьшения толщины стружки, при котором происходит повышение производительности.

При данном угле в плане радиально направленные и осевые усилия резания равны.

Фрезы с круглыми пластинами выбираются:

- при требовании достаточной прочности к режущим пластинам;
- для большинства работ, так как усилия резания распределяются наиболее равномерно по всем направлениям;
- утонение стружки благоприятно влияет на обработку жаропрочных сплавов.

Выбор диаметра фрезы обуславливается исходя из наибольшей производительности. Так необходимо стремиться к большему диаметру, однако это не всегда возможно по ряду причин. Диаметр фрезы должен превышать наибольшую ширину обработки на 30%. При чистовой обработке контура концевыми фрезами желательно выбирать такой радиус, что бы он был меньше, чем минимальный радиус, образующий вогнутость в контуре.

При обработке фрезами желательно использовать попутное направление фрезерования. Следует избегать симметричного расположения фрезы, чтобы снизить склонность к вибрациям.

2 Этап – по жесткости технологической системы **выбирается шаг фрезы** (крупный, нормальный мелкий). Нормальный шаг выбирается для большинства операций, является первым выбором.

В том случае если жесткость системы достаточно низкая, мощность станка небольшая либо требуется большой вылет инструмента (более 2,5D), то в этом случае выбирают фрезы с крупным шагом. Фрезы с крупным шагом имеют меньшее количество пластин, при их работе соответственно возникают меньшие силы резания, однако они обладают меньшей производительностью по сравнению с фрезами с нормальным шагом.

Если требуется наибольшая производительность, при достаточно жесткой технологической системе, то необходимо выбирать фрезы с мелким шагом. Фрезы с мелким шагом содержат большое количество режущих пластин, соответственно будут действовать большие силы резания. Большее количество пластин определяет некоторые сложности с отводом стружки, в соответствии с этим их желательно

использовать для обработки материалов имеющих элементную стружку.

3 Этап – **выбор геометрии пластины**. Выбранному типу фрезы соответствует множество пластин.

В каждой из типов фрез имеется возможность выбора режущих пластин с тремя типами геометрий – легкая (L), средняя (M), тяжелая (H). Средняя геометрия является первым выбором и используется для большинства операций.

Геометрия L имеет более острую режущую кромку и предназначена для выполнения фрезерования с небольшими нагрузками. Используется в случае малой жесткости технологической системы, когда требуются малые силы резания. Такая геометрия может использоваться в случае недостаточной надежности приспособлений, плохих баз.

Дополнительно определяют длину режущей кромки, а также радиус при вершине, (как это описано в предыдущем разделе 2.3.1) что повлияет на выбор размера пластины и соответственно корпуса фрезы.

4 Этап – **выбор материала пластины**. Выбор материала пластины определяется обрабатываемым материалом. Внутри каждого из обрабатываемого материалов в соответствие ставится несколько материалов пластин. Как правило, в каталогах представляется в виде таблицы. Они ранжируются в порядке слева на право по условиям обработки от хороших, нормальных до плохих условий. Так например, если при выборе материала пластины будет возможно применение трех типов, то материал находящийся левее будет предназначен для хороших условий обработки, то есть не прерывном резании, отсутствии корки на поверхности. Материал, находящийся справа для тяжелых условий, то есть прерывистое резание. Материал, находящийся в середине для нормальных условий обработки. При выборе материала всегда существует рекомендуемый первый выбор.

5 Этап – **выбор режимов резания**. Расчет режимов резания может быть произведен при помощи электронного каталога. Отметим основные соотношения, которые встречаются при расчете режимов резания при фрезеровании.

Подача стола, мм/мин:

$$vf = fz \cdot z \cdot n$$

где  $z$  – число зубьев фрезы (число режущих пластин), шт;

$fz$  – подача на зуб, мм/зуб.

Время обработки:

$$T_c = \frac{L}{vf},$$

где  $L$  – полная длина перемещения стола, мм

Потребная мощность:

$$P_c = \frac{a_e \cdot a_p \cdot fn \cdot KF_s}{60 \cdot 10^6},$$

где  $a_p$  – глубина резания, мм;

$a_e$  – ширина фрезерования, мм;

$KF_s$  – удельная сила резания материала, Н/мм<sup>2</sup> (табл. 5 [4]).

Таблица 2.5 - Удельная сила резания при фрезеровании

Обрабатываемый материал	Предел прочности (кг·мм <sup>2</sup> ) и твердость	Сила резания материала $KF_s$ (Н/мм <sup>2</sup> )				
		0,1 (мм/об)	0,2 (мм/об)	0,3 (мм/об)	0,4 (мм/об)	0,6 (мм/об)
Мягкая малоуглеродистая сталь	520	2200	1950	1820	1700	1580
Среднеуглеродистая сталь	620	1980	1800	1730	1600	1570
Твердая сталь	720	2520	2200	2040	1850	1740
Инструментальная сталь	670	1980	1800	1730	1700	1600
Инструментальная сталь	770	2030	1800	1750	1700	1580
Хромомарганцевая сталь	770	2300	2000	1880	1750	1660
Хромомарганцевая сталь	630	2750	2300	2060	1800	1780
Хромомолибденовая сталь	730	2540	2250	2140	2000	1800
Хромомолибденовая сталь	600	2180	2000	1860	1800	1670
Никельхромомолибденовая	940	2000	1800	1680	1600	1500
Никельхромомолибденовая	352HB	2100	1900	1760	1700	1530
Чугун	520	2800	2500	2320	2200	2040
Твердый чугун	46HRC	3000	2700	2500	2400	2200
Чугун механик	360	2180	2000	1750	1600	1470
Серый чугун	200HB	1750	1400	1240	1050	970
Латунь	500	1150	950	800	7000	630
Легкие сплавы (Al-Mg)	160	580	480	400	350	320
Легкие сплавы (Al-Si)	200	700	600	490	450	390

В заключение раздела следует сказать, что выбор путей обработки поверхностей задача многовариантная, поэтому для поиска оптимального решения необходимо проводить дальнейшее экономическое обоснование.

Достижение высокой эффективности операции в целом зависит от всех применяемых инструментов. Поэтому проведение исследования экономически более выгодного варианта с помощью методик следует проводить не отдельно для каждого инструмента, а в целом по всему.

### 3. Пример выбора инструмента и режимов резания для фрезерной обработки корпусной детали

#### 3.1. Выбор инструмента

Произведем выбор инструмента для всех переходов механической обработки картера. Для всех инструментов подберем также режущие пластины (если инструмент не является цельным), корпуса для закрепления пластин, оправки, патроны или базовые держатели станка в соответствии с типом, подходящим к выбранному оборудованию. Весь режущий инструмент подберем от компании Sandvik Coromant, которая является одним из мировых лидеров в области проектирования и производства высококачественного инструмента. Фирма Sandvik производит всю номенклатуру инструмента, необходимого для обработки детали (сверла, цельные и сборные фрезы, расточной инструмент, а также инструментальную оснастку). В другом случае пришлось бы воспользоваться услугами нескольких компаний. Однако увеличение числа поставщиков ведет к росту риска срыва поставок.

1) Для черновой обработки поверхностей 1 и 7 выбираем расточной инструмент для черновой обработки с тремя пластинами CoroBore 820. Пластины настраиваются на  $\varnothing 86-97$  мм независимо друг от друга. С помощью данного инструмента можно производить ступенчатое растачивание, растачивание одной пластиной. По диаметру растачивания выбираем корпус C6-R820E-AA3068A (рисунок 3.1). Корпус имеет возможность внутренней подачи СОЖ.

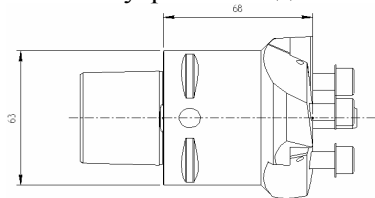


Рисунок 3.1 – Корпус C6-R820E-AA3068A ( $Z_n = 3$ )

Для данного корпуса выбираем ползун-резцовую вставку R820E-AR22SSYC12A с главным углом в плане  $84^\circ$  для увеличения прочности режущей кромки пластины (рисунок 3.2).



2) Для чистовой обработки поверхности 1 применим расточной инструмент для чистовой обработки SogoVore 825 с одной режущей пластиной, настраиваемый на  $\varnothing 86-107$  мм. Выбираем корпус С6-R825С-ААG067А (рисунок 3.5). Особенности данного корпуса являются дискретность регулировки 0,002 мм (регулировка производится только от центра к периферии) и внутренний подвод СОЖ.

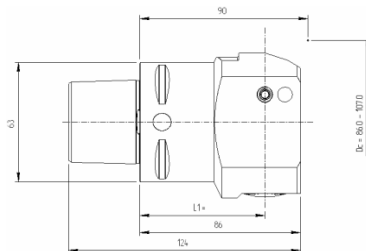


Рисунок 3.5 – Корпус С6-R825С-ААG067А ( $l_1 = 67$  мм,  $Z_n = 1$ )

Для данного корпуса выбираем резцовую вставку R825C-AF23STUP1103А (рисунок 3.6) и пластину TPMT 11 03 04-KF (рисунок 3.7). Материал пластины GC 3215 является сплавом с покрытием CVD и состоит из гладкого износостойкого покрытия и твердой основы.

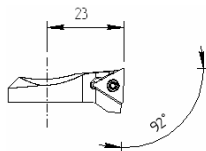


Рисунок 3.6 – Резцовая вставка R825C-AF23STUP1103А

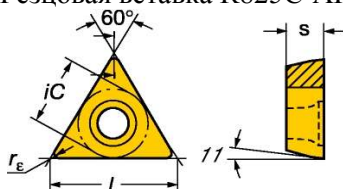


Рисунок 3.7 – Пластина TPMT 11 03 04-KF ( $l = 11$  мм,  $s = 3,18$  мм,  $iC = 6,35$  мм,  $r_e = 0,4$  мм)

Для данной пластины рекомендуются следующие режимы резания:  $a_p = 0,3$  мм (0,1-1,5),  $f_n = 0,1$  мм/об (0,05-0,2),  $V_c = 235$  м/мин (245-215).

Выбираем базовый держатель ISO 7388/1 C6-390.140-40 085 (рисунок 3.8).

3) Для черновой обработки поверхности 9 воспользуемся расточным инструментом Duobore с двумя режущими пластинами, настраиваемый на  $\varnothing 37-47$  мм. Выбираем корпус C3-391.68A-3-032034B (рисунок 3.9). Особенности данного корпуса являются возможность регулировки в осевом и радиальном направлениях и внутренний подвод СОЖ.

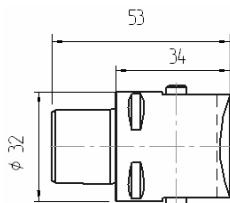


Рисунок 3.9 – Корпус C3-391.68A-3-032 034 B ( $Z_n = 2$ )

Для данного корпуса выбираем резцовую вставку 391.68A-3-04716T11B (рисунок 3.10) и пластину TCMТ 11 03 12-KR (рисунок 3.11). Материал пластины GC 3215 является сплавом с покрытием CVD и состоит из гладкого износостойкого покрытия и твердой основы.

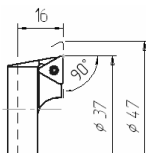


Рисунок 3.10 – Резцовая вставка 391.68A-3-04716T11B

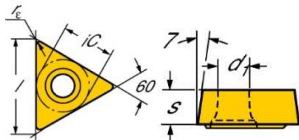


Рисунок 3.11 – Пластина TCMТ 11 03 12-KR ( $l = 11$  мм,  $s = 3,18$  мм,  $iC = 6,35$  мм,  $d_1 = 2,8$  мм,  $r_e = 1,2$  мм)

Для данной пластины рекомендуются следующие режимы резания:  $a_p = 1,5$  мм (0,9-3,0),  $f_n = 0,26$  мм/об (0,12-0,36),  $V_c = 200$  м/мин (235-180).



Выбираем базовый держатель C3-390.140-40 030 (рисунок 3.12) по стандарту ISO 7388/1 с исполнением конуса SK 40.

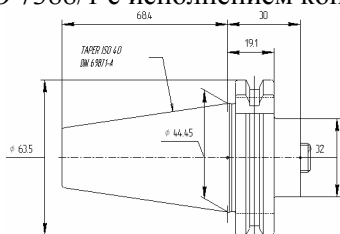


Рисунок 3.12 – Базовый держатель C3-390.140-40 030

4) Для чистовой обработки поверхности 9 применим расточной инструмент для чистовой обработки CoroBore 825 с одной режущей пластиной, настраиваемый на  $\varnothing 35-45$  мм. Выбираем корпус C3-R825B-AAC031A (рисунок 3.13).

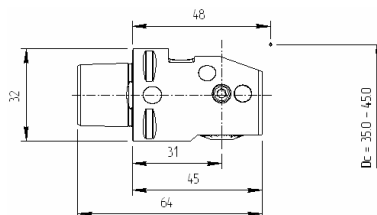


Рисунок 3.13 – Корпус C3-R825B-AAC031A ( $Z_n = 1$ )

Для данного корпуса выбираем резцовую вставку R825B-AF17STUP0902A (рисунок 3.14) и пластину TPMT 09 02 04-KF (рисунок 2.21). Материал пластины GC 3215 является сплавом с покрытием CVD и состоит из гладкого износостойкого покрытия и твердой основы.

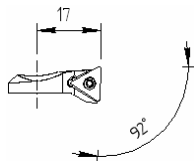


Рисунок 3.14 – Резцовая вставка R825B-AF17STUP0902A

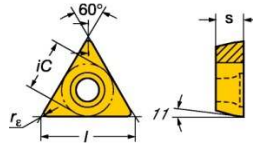


Рисунок 3.15 – Пластина ТРМТ 09 02 04-КФ ( $l = 9$  мм,  $s = 2,8$  мм,  $i_C = 5,56$  мм,  $r_e = 0,4$  мм)

Для данной пластины рекомендуются следующие режимы резания:  $a_p = 0,3$  мм (0,1-1,5),  $f_n = 0,1$  мм/об (0,05-0,2),  $V_c = 235$  м/мин (245-215).

Выбираем базовый держатель С3-390.140-40 030 (рисунок 3.12).

5) Для обработки торцевой поверхности 2 выбираем фрезу семейства CoroMill 245. Принцип выбора диаметра фрезы показан на рисунке 3.16. Ширина обрабатываемого торца составляет от 16,5 мм до 31,5 мм, поэтому выбираем фрезу диаметром 50 мм. Выбираем корпус фрезы для системы с нормальной жесткостью R245-050Q22-12М с равномерным шагом пластин (рисунок 3.17). Данный тип корпуса будем использовать как на черновом, так и на чистовом этапе обработки поверхности 2. У данного типа корпуса есть возможность внутреннего подвода СОЖ.

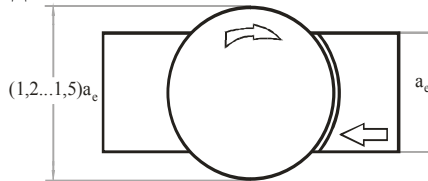


Рисунок 3.16 – Принцип выбора диаметра торцевой фрезы

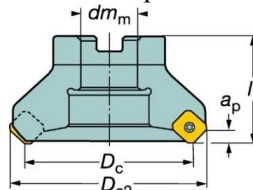


Рисунок 3.17 – Корпус торцевой фрезы R245-050Q22-12М ( $D_c = 50$  мм,  $D_{c2} = 62,5$  мм,  $l_1 = 40$  мм,  $a_{p \max} = 6$  мм,  $dm_m = 22$  мм, посадочный размер 12 мм,  $\kappa_r = 45^\circ$ ,  $Z_n = 4$ )

Для черновой обработки торца выбираем пластины R245-12 T3 М-КН с прочной режущей кромкой, изготовленные из материала GC 3020 (рисунок 3.18).

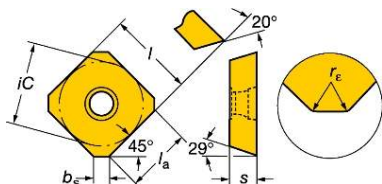


Рисунок 3.18 – Пластина R245-12 T3 М-КН (посадочный размер 12 мм,  $iC = 13,4$  мм,  $s = 3,97$  мм,  $b_s = 1,47$  мм,  $l_a = 10$  мм,  $r_e = 1,7$  мм)

Для пластин R245-12 T3 М-КН рекомендуются следующие режимы резания:  $f_z = 0,35$  мм (0,1-0,42),  $V_c = 165$  м/мин (225-150).

Для чистовой обработки торца в выбранный корпус фрезы установим девять пластин для чистовой обработки со шлифованной кромкой R245-12 T3 E-KL (рисунок 3.19) из материала GC 3020 и одну зачистную пластину R245-12 T3 E-W (рисунок 3.20) из материала GC 3020. Установка зачистной пластины позволяет производить чистовую обработку с большей производительностью. GC 3020 – это сплав с покрытием для полужернового и чернового фрезерования серого чугуна, в основном без применения СОЖ. Для сплава характерна высокая и предсказуемая стойкость на средних высоких скоростях резания.

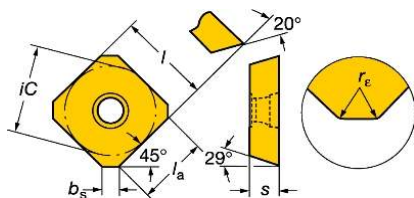


Рисунок 3.19 – Пластина R245-12 T3 E-KL (посадочный размер 12 мм,  $iC = 13,4$  мм,  $s = 3,97$  мм,  $b_s = 2$  мм,  $l_a = 10$  мм,  $r_e = 1,5$  мм)

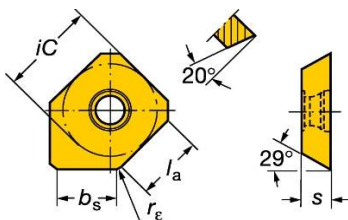


Рисунок 3.20 – Зачистная пластина R245-12 T3 E-W (посадочный размер 12 мм,  $iC = 13,4$  мм,  $s = 3,97$  мм,  $b_s = 6,4$  мм,  $l_a = 3,5$  мм,  $r_e = 2,5$  мм)

Для пластин R245-12 T3 E-KL и R245-12 T3 E-W рекомендуются следующие режимы резания:  $f_z = 0,14$  мм (0,08-0,21),  $V_c = 225$  м/мин (230-200).

В качестве базового держателя станка выбираем комбинированную оправку для фрез 392.14005-40 22 050A (рисунок 3.21).

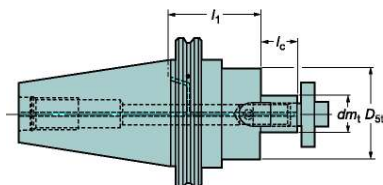


Рисунок 3.22 – Комбинированная оправка для фрез 392.14005-40 22 050A ( $D_{st} = 49$  мм,  $dm_t = 22$  мм,  $l_c = 19$  мм,  $l_1 = 50$  мм)

б) В качестве инструмента для обработки поверхностей 3-6, 10, 11, 12, 13, 17 воспользуемся фрезой CoroMill 390  $\varnothing 40$  мм. Выбираем корпус фрезы R390-040Q16-11M (рисунок 3.23) для нормальных условий обработки и с неравномерным шагом пластин. Возможен внутренний подвод СОЖ.

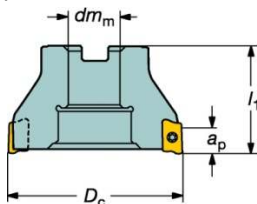


Рисунок 3.23 – Корпус концевой фрезы R390-040Q16-11M ( $D_c = 40$  мм,  $l_1 = 40$  мм,  $a_{p\max} = 10$  мм,  $dm_m = 16$  мм, посадочный размер 11 мм,  $\kappa_r = 90^\circ$ ,  $Z_c = 4$ )

Далее выбираем пластины R390-11 T3 04M-KM с прочной режущей кромкой, выполненные из сплава GC 1020 с покрытием PVD для получернового и черного фрезерования серого чугуна.

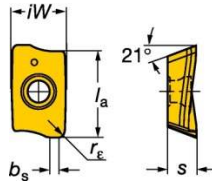


Рисунок 3.24 – Пластина R390-11 Т3 04М-КМ (посадочный размер 11 мм,  $iW = 6,8$  мм,  $s = 3,59$  мм,  $b_s = 0,9$  мм,  $l_a = 3,5$  мм,  $r_\epsilon = 0,4$  мм)

Для пластин R390-11 Т3 04М-КМ рекомендуются следующие режимы резания:  $f_z = 0,1$  мм (0,08-0,15),  $V_c = 285$  м/мин (285-275).

В качестве базового держателя станка выбираем комбинированную оправку для фрез 392.14008-40 16 052 (рисунок 2.30)

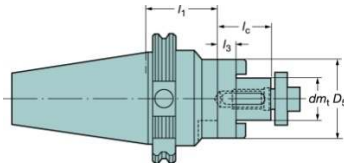


Рисунок 3.25 – Комбинированная оправка для фрез 392.14008-40 16 052 ( $D_{st} = 32$  мм,  $dm_t = 16$  мм,  $l_c = 27$  мм,  $l_1 = 52$  мм,  $l_3 = 10$  мм)

7) Для чистовой обработки поверхностей 7, 8, 11, 12 используем концевую фрезу для чистовой обработки CoroMill Plura  $\varnothing 20$  мм R215.36-20060-AC38L (рисунок 3.26), изготовленную из сплава GC 1620. У данной фрезы отсутствует режущая кромка у центра.

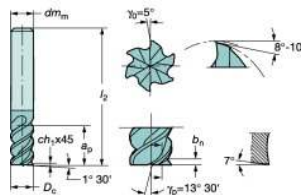


Рисунок 3.26 – Фреза концевая R215.36-20060-AC38L ( $Z_n = 6$ ,  $D_c = 20$  мм,  $l_1 = 54$  мм,  $l_2 = 104$  мм,  $a_{p \max} = 38$  мм,  $dm_m = 20$  мм,  $\alpha_0 = 9^\circ$ )

Базовым держателем станка для данной фрезы будет силовой прецизионный патрон CoroGrip 392.272HMD-40 20 085 (рисунок 3.27). Данный патрон обеспечивает высокую точность обработки благодаря индивидуальной балансировке. Радиальное биение не превышает 0,003 мм.

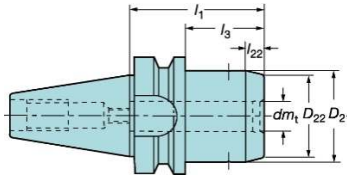


Рисунок 3.27 – Силовой прецизионный патрон 392.272HMD-40 20 085 ( $D_{21} = 55$  мм,  $dm_t = 20$  мм,  $l_1 = 84$  мм,  $l_3 = 65$  мм)

8) Для чистовой обработки поверхности 1 возможно также применить расточной инструмент CoroBore 825 с одной режущей пластиной, настраиваемый на  $\varnothing 86-107$  мм. Выбираем корпус (рисунок 3.28). Особенности данного корпуса являются дискретность регулировки 0,002 мм (регулировка производится только от центра к периферии) и внутренний подвод СОЖ

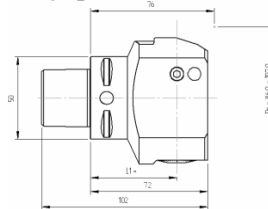


Рисунок 3.28 – Корпус C5-R825C-AAG053A ( $l_1 = 53$  мм,  $Z_n = 1$ )

Для данного корпуса выбираем резцовую вставку R825C-AF23STUP1103A и пластину TPMT 11 03 04-KF.

Выбираем базовый держатель станка C5-390.140-40 030 (рисунок 3.29) с исполнением конуса SK 40 по стандарту ISO 7388/1.

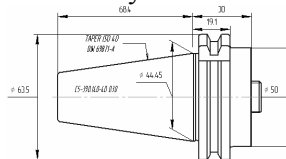


Рисунок 3.29 – Базовый держатель C5-390.140-40 030

9) Для обработки поверхностей 30,31 и 32 (для получения канавки) выбираем прорезную фрезу  $h = 3,1$  мм 330.20-160030-230 (рисунок 3.30). Лучшим выбором стала бы дисковая трехсторонняя фреза на цилиндрическом хвостовике, но ширина обрабатываемого паза у таких фрез не менее 6 мм.

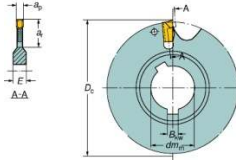


Рисунок 3.30 – Фреза прорезная  $h = 3,1$  мм 330.20-160030-230 ( $D_c = 160$  мм,  $E = 8$  мм,  $B_{kw} = 10$  мм,  $a_{p\max} = 3,12$  мм,  $a_{r\max} = 49$  мм,  $dm_m = 40$  мм, посадочный размер 3 мм,  $\kappa_r = 90^\circ$ ,  $Z_n = 14$ )

Для выбранного корпуса принимаем пластину 330.20-40-AA (рисунок 3.31), изготовленную из сплава GC 4030 с покрытием CVD для чистового и чернового фрезерования чугуна.

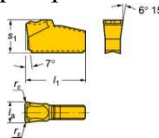


Рисунок 3.31 – Пластина 330.20-40-AA (посадочный размер 3 мм,  $l_a = 4,12$  мм,  $l_1 = 12,8$  мм,  $s_1 = 7,16$  мм,  $r_c = 0,3$  мм)

Для пластины рекомендуются следующие режимы резания:  $f_z = 0,09$  мм (0,02-0,12),  $V_c = 290$  м/мин (300-285)

Далее выбираем оправку для корпуса фрезы С6-391.10-40 025 (рисунок 3.32).

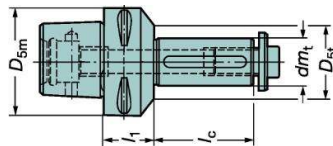


Рисунок 3.32 – Оправка для дисковых фрез С6-391.10-40 025 ( $D_{5t} = 56$  мм,  $D_{5m} = 63$  мм,  $dm_t = 40$  мм,  $l_c = 60$  мм,  $l_1 = 25$  мм)

Выбираем базовый держатель ISO 7388/1 С6-390.140-40 085.

10) Для обработки поверхностей 22 и 23  $\varnothing 5 \pm 0,15$  выбираем сверло  $\varnothing 5,1$  мм R840-0510-70-A1A (материал GC 1220), которое предназначено для получения пересекающихся отверстий. Диаметр 5,1 мм выбираем для постоянного обеспечения технического условия  $\varnothing 5^{+0,15}$  на глубине 7 мм. Материал сверла – мелкозернистый твердый сплав, обладающий наилучшим сочетанием прочности и твердости. Покрытие TiAlN, нанесенное методом PVD, обеспечивает надежность

режущих кромок. Конструкция сверла обеспечивает внутренний подвод СОЖ.

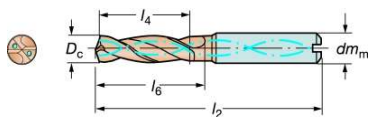


Рисунок 3.33 – Сверло R840-0510-70-A1A ( $D_c = 5,1$  мм,  $dm_m = 6$  мм,  $l_2 = 93$  мм,  $l_4 = 42$  мм,  $l_6 = 50$  мм,  $\kappa_r = 70^\circ$ )

Для крепления сверла в базовом держателе станка используем цангу ER 393.14-40 060 (рисунок 3.34).

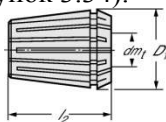


Рисунок 3.34 – Цанга ER 393.14-40 060 ( $dm_{t \min} = 5$  мм,  $dm_{t \max} = 6$  мм,  $D_1 = 41$  мм,  $l_2 = 46$  мм)

В качестве базового держателя станка выбираем цанговый патрон 392.14014-40 40 100 (рисунок 3.35).

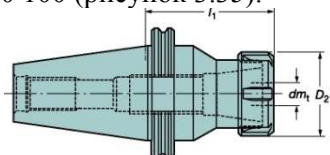


Рисунок 3.35 – Цанговый патрон 392.14014-40 40 100 ( $D_{21} = 63$  мм,  $l_1 = 100$  мм)

11) Для обработки поверхностей 14 и 19 используем сверло  $\varnothing 3$  мм R840-0300-30-A1A (рисунок 3.36), изготовленное из материала GC 1220.

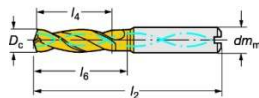


Рисунок 3.36 – Сверло R840-0300-30-A1A ( $D_c = 3$  мм,  $dm_m = 6$  мм,  $l_2 = 62$  мм,  $l_4 = 13$  мм,  $l_6 = 20$  мм,  $\kappa_r = 70^\circ$ )

12) Для обработки поверхности 18 используем сверло  $\varnothing 4$  мм R840-0400-30-A1A (рисунок 3.37), изготовленное из материала GC 1220.



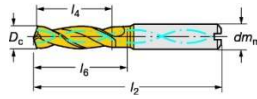


Рисунок 3.37 – Сверло R840-0400-30-A1A ( $D_c = 4$  мм,  $d_{m_m} = 6$  мм,  $l_2 = 66$  мм,  $l_4 = 17$  мм,  $l_6 = 24$  мм,  $\kappa_r = 70^\circ$ )

13) Для обработки поверхностей 15 и 16 используем сверло  $\varnothing 5,5$  мм R840-0550-50-A1A (рисунок 3.38), изготовленное из материала GC 1220.

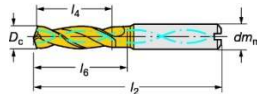


Рисунок 3.38 – Сверло R840-0550-50-A1A ( $D_c = 5,5$  мм,  $d_{m_m} = 6$  мм,  $l_2 = 82$  мм,  $l_4 = 35$  мм,  $l_6 = 44$  мм,  $\kappa_r = 70^\circ$ )

14) Для обработки отверстий под резьбу M10x1,25 выбираем сверло  $\varnothing 7,5$  мм R840-0750-30-A1A (рисунок 3.39). Материал сверла GC 1220.

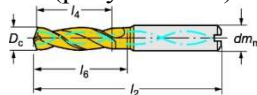


Рисунок 3.39 – Сверло R840-0750-30-A1A ( $D_c = 7,5$  мм,  $d_{m_m} = 8$  мм,  $l_2 = 79$  мм,  $l_4 = 28$  мм,  $l_6 = 41$  мм,  $\kappa_r = 70^\circ$ )

15) Поверхность 26 обрабатываем сверлом  $\varnothing 12$  мм R840-1200-30-A1A (рисунок 3.40). Материал GC 1220.

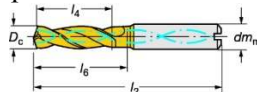


Рисунок 3.40 – Сверло R840-1200-30-A1A ( $D_c = 12$  мм,  $d_{m_m} = 12$  мм,  $l_2 = 102$  мм,  $l_4 = 35$  мм,  $l_6 = 55$  мм,  $\kappa_r = 70^\circ$ )

Для крепления сверла в базовом держателе станка используем цангу ER 393.14-40 120 (рисунок 3.41).

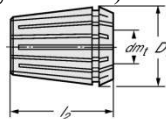


Рисунок 3.41 – Цанга ER 393.14-40 120 ( $d_{m_t \min} = 11$  мм,  $d_{m_t \max} = 12$  мм,  $D_1 = 41$  мм,  $l_2 = 46$  мм)

16) Для получения поверхности 41 используем концевую фрезу  $\varnothing 13$  мм R216.33-13030-AC22P (рисунок 3.42) из материала GC 1630.

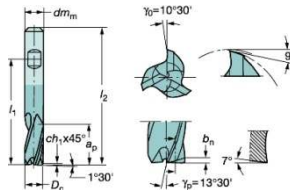


Рисунок 3.42 – Фреза концевая R216.33-13030-AC22P ( $dm_m = 14$  мм,  $l_2 = 83$  мм,  
 $a_{p \max} = 22$  мм,  $Z_n = 3$ ,  $\alpha_o = 9^\circ$ )

Для закрепления в держателе станка выбираем цангу ER 393.14-40 140 (рисунок 3.43).

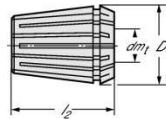


Рисунок 3.43 – Цанга ER 393.14-40 140 ( $dm_{t \min} = 13$  мм,  $dm_{t \max} = 14$  мм,  
 $D_1 = 41$  мм,  $l_2 = 46$  мм)

17) Для обработки кругового паза (для формирования поверхностей 20, 21, 28) используем цельную концевую фрезу  $\varnothing 2,5$  мм R216.32-02530-AC70P (рисунок 3.44), изготовленную из материала GC 1630.

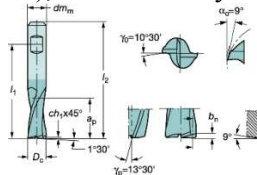


Рисунок 3.44 – Фреза концевая R216.32-02530-AC70P ( $Z_n = 2$ ,  $D_c = 2,5$  мм,  $l_1 = 21$  мм,  $l_2 = 57$  мм,  $a_{p \max} = 7$  мм,  $dm_m = 6$  мм)

18) Для обработки кругового паза (для формирования поверхностей 24, 25 и 29) используем цельную концевую фрезу  $\varnothing 3,5$  мм R216.32-03530-AC07P (рисунок 3.47), изготовленную из материала GC 1630.

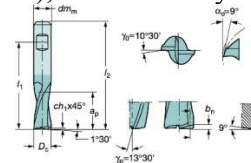


Рисунок 3.47 – Фреза концевая R216.32-03530-AC07P ( $Z_n = 2$ ,  $D_c = 3,5$  мм,  $l_1 = 21$  мм,  $l_2 = 57$  мм,  $a_{p\max} = 7$  мм,  $dm_m = 6$  мм)

19) Переходим к выбору инструмента для формирования резьбы на цилиндрических поверхностях 15, 16, 18, 27. Нарезание резьбы можно произвести с применением метчика или резьбофрезерованием. Формирование резьбы метчиком является более привычным и распространенным способом, однако, во многих случаях резьбофрезерование внутренних и наружных резьб является более экономичным по сравнению с нарезкой резьбы метчиком. Основным требованием к оборудованию для фрезерования резьб является наличие системы ЧПУ с управлением по трем осям координат и опции винтовой интерполяции движений станка. Выбранный фрезерный станок UCP 800 Diго отвечает этим требованиям. Метод фрезерования резьбы также обладает следующими преимуществами: выполнение резьбы без заусенцев, с высоким качеством поверхности вплоть до дна отверстия; хороший отвод стружки; высокая скорость обработки, а значит высокая производительность; только один инструмент для разных диаметров резьбы, левой и правой резьбы, сквозных и глухих отверстий.

Для нарезания резьбы М6х1,0 выбираем фрезу R217.14C045100AC13N (рисунок 3.48), изготовленную из материала GC 1630. У данной фрезы имеется возможность внутреннего подвода СОЖ.

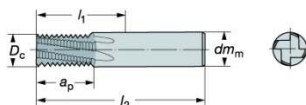


Рисунок 3.48 – Фреза для нарезания резьбы R217.14C045100AC13N ( $Z_n = 4$ ,  $D_c = 4,5$  мм,  $l_1 = 21$  мм,  $l_2 = 57$  мм,  $a_{p\max} = 13$  мм,  $dm_m = 6$  мм)

20) Для нарезания резьбы М8х1,25 и М10х1,25 выбираем фрезу R217.14C060125AK17N (рисунок 3.49), из материала для обработки чугуна GC 1630. Конструкция фрезы обеспечивает внутренний подвод СОЖ.

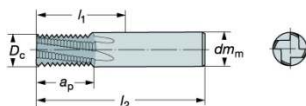


Рисунок 3.49 – Фреза для нарезания резьбы R217.14C060125AK17N ( $Z_n = 4$ ,  $D_c = 6$  мм,  $l_1 = 29$  мм,  $l_2 = 65$  мм,  $a_{p\max} = 17,5$  мм,  $dm_m = 6$  мм)

21) Для обработки всех фасок под  $45^\circ$  воспользуемся фрезой R215.84-01000-AC25G (рисунок 3.50), изготовленной из сплава GC 1620.

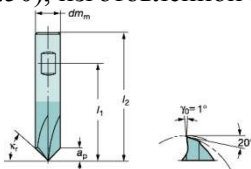


Рисунок 3.50 – Фреза для снятия фасок R215.84-01000-AC25G ( $Z_n = 4$ ,  $l_1 = 21$  мм,  $l_2 = 57$  мм,  $a_{p \max} = 2,5$  мм,  $dm_m = 6$  мм,  $\kappa_r = 45^\circ$ )

22) Для обработки всех фасок под  $30^\circ$  воспользуемся фрезой R215.94-01500-AC74G (рисунок 3.51), изготовленной из сплава GC 1620.

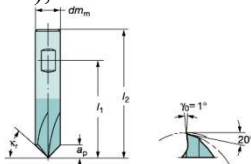


Рисунок 3.51 – Фреза для снятия фасок R215.94-01500-AC74G ( $Z_n = 4$ ,  $l_1 = 60$  мм,  $l_2 = 100$  мм,  $a_{p \max} = 7,35$  мм,  $dm_m = 10$  мм,  $\kappa_r = 60^\circ$ )

### 3.2. Выбор режимов резания и нормирование операций

Произведем выбор режимов резания и рассчитаем машинное время. Методика определения машинного времени изложена в [5]. Для выбора воспользуемся справочной литературой от производителя инструментальной оснастки Sandvik Coromant [12, 13]. В данном разделе выберем скорость резания, подачу на оборот (подачу на зуб), глубину резания. Также произведем расчет оборотов шпинделя станка и машинного времени обработки по переходам. Обороты шпинделя рассчитываются по следующей формуле:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot D_c} \cdot V_c, \text{ об/мин};$$

где  $D_c$  – диаметр режущей части инструмента, мм;  
 $V_c$  – скорость резания, м/мин.

Далее принимаем величину оборотов  $n$ , близкую к расчетной. Расчет машинного времени ведется по формуле:

$$t_m = \frac{L}{n \cdot f_n}, \text{ мин};$$

где  $L$  – длина обрабатываемой поверхности, мм;

$f_n$  – подача инструмента на один оборот (смещение инструмента вдоль оси заготовки за один оборот шпинделя), мм/об.

Все поверхности детали обрабатываются за один проход инструмента. В данной формуле для вычисления машинного времени это обстоятельство учтено.

Для фрезерного инструмента выбирается подача на зуб, тогда подача на оборот определяется по формуле:

$$f_n = f_z \cdot z, \text{ мм/об};$$

где  $f_z$  – подача заготовки, приходящаяся на один зуб инструмента, мм/зуб;

$z$  – количество зубьев у инструмента, шт.

При расчете длины обрабатываемой поверхности  $L$  также учитываем расстояние, необходимое для врезания инструмента и его выхода с обрабатываемой поверхности.

Переходим к выбору режимов резания.

1) Черновое фрезерование поверхности 2.

$L = 318$  мм,  $z = 4$ . Согласно рекомендациям  $f_z = 0,38$  мм/зуб,  $V_c = 185$  м/мин, тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 50} \cdot 185 = 1177,7 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 1180$  об/мин.

$$t_{m2} = \frac{318}{1180 \cdot 0,38 \cdot 4} = 0,177 \text{ мин.}$$

2) Черновое растачивание поверхностей 1 и 7.

$L_1 = 115$  мм,  $L_7 = 17$  мм. Припуск  $a_p = \frac{91,6 - 87}{2} = 2,3$  мм, что

совпадает с рекомендуемой глубиной резания для черновой обработки, тогда согласно рекомендациям  $f_z = 0,32$  мм/об,  $V_c = 285$  м/мин, тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 91,6} \cdot 285 = 990,4 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 1000$  об/мин. Все три режущие пластины настроены на один размер, поэтому время обработки сокращается в 3 раза.

$$t_{м1} = \frac{115}{1000 \cdot 0,32 \cdot 3} = 0,12 \text{ мин; } t_{м7} = \frac{17}{1000 \cdot 0,32 \cdot 3} = 0,018 \text{ мин.}$$

3) Черновое растачивание поверхности 9.

Припуск на обработку  $a_p = \frac{41-36}{2} = 2,5$  мм, тогда согласно рекомендациям выбираем  $f_z = 0,2$  мм/об,  $V_c = 210$  м/мин.

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 41} \cdot 210 = 1630,4 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 1630$  об/мин. Обе режущие пластины настроены на один размер, поэтому время обработки сокращается в 2 раза.

$$t_{м9} = \frac{30}{1630 \cdot 0,2 \cdot 2} = 0,046 \text{ мин.}$$

4) Чистовое фрезерование поверхности 2.

$L = 318$  мм,  $z = 4$ . Согласно рекомендациям  $f_z = 0,2$  мм/зуб,  $V_c = 220$  м/мин, тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 50} \cdot 220 = 1400,6 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 1400$  об/мин.

$$t_{м2} = \frac{318}{1400 \cdot 0,2 \cdot 4} = 0,284 \text{ мин.}$$

5) Чистовое растачивание поверхности 1.

$L = 115$  мм. Припуск  $a_p = \frac{92-91,6}{2} = 0,2$  мм, что совпадает с рекомендуемой глубиной резания для чистовой обработки, поэтому выбираем  $f_n = 0,08$  мм/об,  $V_c = 240$  м/мин, тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 92} \cdot 240 = 830,4 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 830$  об/мин.

$$t_{m1} = \frac{115}{830 \cdot 0,08} = 1,732 \text{ мин.}$$

б) Фрезерование поверхностей 3, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 13, 17.

Для фрезерования поверхностей 3, 10, 11, 12, 13 принимаем  $f_z = 0,15$  мм/зуб,  $V_c = 275$  м/мин, тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 40} \cdot 270 = 2148,6 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 2150$  об/мин.  $L_3 = 64$  мм,  $L_{10} = 153$  мм,  $L_{11,12} = 396$  мм,  $L_{13} = 58$  мм. Число зубьев фрезы  $z = 4$ .

$$t_{m3} = \frac{64}{2150 \cdot 0,15 \cdot 4} = 0,050 \text{ мин;}$$

$$t_{m10} = \frac{153}{2150 \cdot 0,15 \cdot 4} = 0,119 \text{ мин;}$$

$$t_{m11,12} = \frac{396}{2150 \cdot 0,15 \cdot 4} = 0,307 \text{ мин;}$$

$$t_{m13} = \frac{58}{2150 \cdot 0,15 \cdot 4} = 0,045 \text{ мин.}$$

Для фрезерования поверхностей 4, 5, 6, 17 принимаем  $f_z = 0,12$  мм/зуб,  $V_c = 280$  м/мин, тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 40} \cdot 280 = 2228,2 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 2230$  об/мин.  $L_4 = 261$  мм,  $L_{5,6} = 188$  мм,  $L_{17} = 156$  мм.

$$t_{м4} = \frac{261}{2230 \cdot 0,12 \cdot 4} = 0,244 \text{ мин.};$$

$$t_{м5,6} = \frac{188}{2230 \cdot 0,12 \cdot 4} = 0,176 \text{ мин.};$$

$$t_{м17} = \frac{156}{2230 \cdot 0,12 \cdot 4} = 0,146 \text{ мин.}$$

7) Фрезерование поверхностей 7, 8, 11, 12.

Число зубьев фрезы  $z = 6$ . Согласно рекомендациям  $f_z = 0,09$  мм/зуб,  $V_c = 110$  м/мин, тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 20} \cdot 110 = 1750,7 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 1750$  об/мин.  $L_7 = 227$  мм,  $L_8 = 135$  мм,  $L_{11,12} = 754$  мм.

$$t_{м7} = \frac{227}{1750 \cdot 0,09 \cdot 6} = 0,240 \text{ мин.};$$

$$t_{м8} = \frac{135}{1750 \cdot 0,09 \cdot 6} = 0,143 \text{ мин.};$$

$$t_{м11,12} = \frac{202}{1750 \cdot 0,09 \cdot 6} = 0,798 \text{ мин.}$$

8) Чистовое растачивание поверхности 9.

$L = 26$  мм. Припуск  $a_p = \frac{42 - 41}{2} = 0,5$  мм. Согласно рекомендациям для пластин, используемых на расточном инструменте, выбираем  $f_n = 0,1$  мм/об,  $V_c = 230$  м/мин, тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 42} \cdot 230 = 1743,1 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 1750$  об/мин.

$$t_{м9} = \frac{26}{1750 \cdot 0,1} = 0,149 \text{ мин.}$$



9) Сверление двух отверстий  $\varnothing 5$  мм (поверхности 22, 23).

Для обработки серого чугуна производитель рекомендует  $f_n = 0,15 \dots 0,25$  мм/об,  $V_c = 70 \dots 130$  м/мин.

Выбираем  $f_n = 0,2$  мм/об,  $V_c = 120$  м/мин. тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 5,1} \cdot 120 = 7489,6 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 7500$  об/мин.  $L_{22} = 23$  мм,  $L_{23} = 42$  мм.

$$t_{м22} = \frac{23}{7500 \cdot 0,2} = 0,015 \text{ мин; } t_{м23} = \frac{42}{7500 \cdot 0,2} = 0,028 \text{ мин.}$$

10) Фрезерование канавки, образуемой поверхностями 20, 21, 28.

$L = 45$  мм,  $z = 2$ . Согласно рекомендациям выбираем  $f_z = 0,004$  мм/зуб,  $V_c = 85$  м/мин, тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 2,5} \cdot 85 = 10822,5 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 10820$  об/мин.

$$t_{м20,21,28} = \frac{45}{10820 \cdot 0,004 \cdot 2} = 0,520 \text{ мин.}$$

11) Сверление четырех отверстий  $\varnothing 3$  мм (поверхности 14 и 19).

Для выбранного сверла при обработке серого чугуна производитель рекомендует  $f_n = 0,15 \dots 0,25$  мм/об,  $V_c = 70 \dots 130$  м/мин. Выбираем  $f_n = 0,2$  мм/об,  $V_c = 90$  м/мин. тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 3} \cdot 90 = 9549,3 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 9550$  об/мин.  $L_{14} = 5$  мм,  $L_{19} = 7$  мм.

$$t_{м14} = \frac{6}{9550 \cdot 0,2} = 0,003 \text{ мин.}$$

Соответственно время обработки двух отверстий составит:

$$t_{м14} = 0,003 \cdot 2 = 0,006 \text{ мин.}$$

$$t_{м19} = \frac{8}{9550 \cdot 0,2} = 0,004 \text{ мин.}$$

Соответственно время обработки двух отверстий составит:

$$t_{м19} = 0,004 \cdot 2 = 0,008 \text{ мин.}$$

12) Сверление четырех отверстий  $\varnothing 4$  мм (поверхность 18).

Для выбранного сверла при обработке серого чугуна производитель рекомендует  $f_n = 0,15 \dots 0,25$  мм/об,  $V_c = 70 \dots 130$  м/мин. Выбираем  $f_n = 0,2$  мм/об,  $V_c = 100$  м/мин. тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 4} \cdot 100 = 7957,7 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 7950$  об/мин.  $L = 13$  мм.

$$t_{м18} = \frac{13}{7950 \cdot 0,2} = 0,008 \text{ мин.}$$

Соответственно время обработки четырех отверстий составит:

$$t_{м18} = 0,008 \cdot 4 = 0,032 \text{ мин.}$$

13) Сверление восьми отверстий  $\varnothing 5,5$  мм (поверхности 15 и 16).

Для выбранного сверла при обработке серого чугуна производитель рекомендует  $f_n = 0,15 \dots 0,25$  мм/об,  $V_c = 70 \dots 130$  м/мин. Выбираем  $f_n = 0,2$  мм/об,  $V_c = 130$  м/мин. тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 5,5} \cdot 130 = 7523,7 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 7520$  об/мин.  $L_{15} = 20$  мм,  $L_{16} = 24$  мм.

$$t_{м15} = \frac{20}{7520 \cdot 0,2} = 0,013 \text{ мин.}$$

Соответственно время обработки четырех отверстий составит:

$$t_{м15} = 0,013 \cdot 4 = 0,052 \text{ мин.}$$

$$t_{м16} = \frac{24}{7520 \cdot 0,2} = 0,016 \text{ мин.}$$

Соответственно время обработки четырех отверстий составит:

$$t_{м16} = 0,016 \cdot 4 = 0,064 \text{ мин.}$$

14) Сверление четырех отверстий  $\varnothing 7,5$  мм (поверхность 27).

Для выбранного сверла при обработке серого чугуна производитель рекомендует  $f_n = 0,20 \dots 0,35$  мм/об,  $V_c = 70 \dots 130$  м/мин. Выбираем  $f_n = 0,3$  мм/об,  $V_c = 130$  м/мин. тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 7,5} \cdot 130 = 5517,4 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 5510$  об/мин.  $L = 15$  мм.

$$t_{м27} = \frac{15}{5510 \cdot 0,3} = 0,009 \text{ мин.}$$

Соответственно время обработки четырех отверстий составит:

$$t_{м27} = 0,009 \cdot 4 = 0,036 \text{ мин.}$$

15) Сверление отверстия  $\varnothing 12$  мм (поверхность 26).

Для выбранного сверла при обработке серого чугуна производитель рекомендует  $f_n = 0,30 \dots 0,55$  мм/об,  $V_c = 70 \dots 130$  м/мин. Выбираем  $f_n = 0,5$  мм/об,  $V_c = 130$  м/мин. тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 12} \cdot 130 = 3448,4 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 3450$  об/мин.  $L = 26$  мм.

$$t_{м26} = \frac{26}{3450 \cdot 0,5} = 0,015 \text{ мин.}$$

16) Фрезерование поверхности 41.

$L = 10$  мм,  $z = 3$ . Согласно рекомендациям выбираем  $f_z = 0,039$  мм/зуб,  $V_c = 85$  м/мин, тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 13} \cdot 85 = 2081,3 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 2100$  об/мин.

$$t_{м41} = \frac{10}{2100 \cdot 0,039 \cdot 3} = 0,041 \text{ мин.}$$

17) Фрезерование канавки, образуемой поверхностями 24, 25,

29.

$L = 64$  мм,  $z = 2$ . Согласно рекомендациям выбираем  $f_z = 0,006$  мм/зуб,  $V_c = 85$  м/мин, тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 3,5} \cdot 85 = 7730,4 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 7730$  об/мин.

$$t_{м24,25,29} = \frac{64}{7730 \cdot 0,006 \cdot 2} = 0,690 \text{ мин.}$$

18) Резьбофрезерование (поверхность 18).

$L = 10$  мм,  $z = 4$ . Согласно рекомендациям выбираем  $f_z = 0,036$  мм/зуб,  $V_c = 83$  м/мин, тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 6} \cdot 82 = 4403,3 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 4400$  об/мин.

$$t_{м18} = \frac{10}{4400 \cdot 0,036 \cdot 4} = 0,016 \text{ мин.}$$

Соответственно время обработки четырех отверстий составит:

$$t_{м18} = 0,016 \cdot 4 = 0,064 \text{ мин.}$$

19) Резьбофрезерование (поверхности 15, 16, 27).

Число зубьев фрезы  $z = 4$ . Согласно рекомендациям выбираем  $f_z = 0,034$  мм/зуб,  $V_c = 83$  м/мин, тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 8} \cdot 83 = 3302,5 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 3300$  об/мин.  $L_{15} = 17$  мм,  $L_{16} = 20$  мм,  $L_{27} = 17$  мм,

$$t_{м15} = \frac{17}{3300 \cdot 0,034 \cdot 4} = 0,038 \text{ мин.}$$

Соответственно время обработки четырех отверстий составит:

$$t_{м15} = 0,038 \cdot 4 = 0,152 \text{ мин.}$$

$$t_{м16} = \frac{20}{3300 \cdot 0,034 \cdot 4} = 0,045 \text{ мин.}$$

Соответственно время обработки четырех отверстий составит:

$$t_{м16} = 0,045 \cdot 4 = 0,180 \text{ мин.}$$

$$t_{м27} = \frac{17}{3300 \cdot 0,034 \cdot 4} = 0,038 \text{ мин.}$$

Соответственно время обработки четырех отверстий составит:

$$t_{м27} = 0,038 \cdot 4 = 0,152 \text{ мин.}$$

20) Обработка фасок под  $30^\circ$ .

Число зубьев фрезы  $z = 4$ . Согласно рекомендациям выбираем  $f_z = 0,034$  мм/зуб,  $V_c = 210$  м/мин, тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 6} \cdot 210 = 11140,8 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 11150$  об/мин.  $L_{33} = 271$  мм,  $L_{34} = L_{35} = 114$  мм,  $L_{36} = 277$  мм.

$$t_{м33} = \frac{271}{11150 \cdot 0,034 \cdot 4} = 0,179 \text{ мин;}$$

$$t_{м34} = t_{м35} = \frac{114}{11150 \cdot 0,034 \cdot 4} = 0,075 \text{ мин;}$$

$$t_{м36} = \frac{277}{11150 \cdot 0,034 \cdot 4} = 0,183 \text{ мин.}$$

21) Обработка фасок под  $45^\circ$ .

Число зубьев фрезы  $z = 4$ . Согласно рекомендациям выбираем  $f_z = 0,04$  мм/зуб,  $V_c = 190$  м/мин, тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 4} \cdot 190 = 15119,7 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 15120$  об/мин.  $L_{39} = 16$  мм,  $L_{37} = L_{40} = 1$  мм,  $L_{38} = 277$  мм.

$$t_{м39} = \frac{16}{15120 \cdot 0,04 \cdot 4} = 0,007 \text{ мин;}$$

$$t_{м37} = t_{м40} = \frac{1}{15120 \cdot 0,04 \cdot 4} = 0,001 \text{ мин;}$$

$$t_{m38} = \frac{277}{15120 \cdot 0,04 \cdot 4} = 0,115 \text{ мин.}$$

22) Фрезерование канавки, образуемой поверхностями 30, 31, 32.

$L = 1492$  мм,  $z = 14$ . Согласно рекомендациям выбираем  $f_z = 0,12$  мм/зуб,  $V_c = 300$  м/мин, тогда:

$$n_p = \frac{1000}{\pi \cdot 160} \cdot 300 = 596,8 \text{ об/мин.}$$

Принимаем  $n = 600$  об/мин.

$$t_{m30,31,32} = \frac{1492}{600 \cdot 0,12 \cdot 14} = 1,480 \text{ мин.}$$

Время, затрачиваемое на механическую обработку (машинное время), определяется как сумма машинных времен, рассчитанных по переходам. Тогда суммарное время всей машинной обработки  $t_m = 8,965$  мин.

## 4. Пример выбора инструмента и режимов резания для токарной обработки

### 4.1. Анализ режущего инструмента

При проектировании технологических процессов механической обработки корпусных деталей очень важным этапом является выбор режущего инструмента. Значительный ассортимент режущего инструмента на мировом рынке даёт нам хорошую возможность выбрать оптимальный инструмент для конкретных целей. Хотя в нашем случае для изготовления детали «Корпус ДСИ» инструмент уже имеется, мы всё равно произведём небольшое сравнение существующего сегодня режущего инструмента с целью определить, насколько будет отличаться результат использования инструмента того или иного производителя. Для сравнения возьмём 3 варианта: режущий инструмент фирмы Sandvik, инструмент фирмы Walter и традиционный отечественный режущий инструмент, используемый на старом универсальном оборудовании.

Анализ будем производить исходя из основных показателей режимов резания, а именно подачи, числа оборотов и скорости резания, т. к. величина режимов напрямую влияет на производительность процесса механической обработки. В качестве примера на черновой операции будем обрабатывать цилиндрическую заготовку из алюминиевого сплава диаметром  $D = 130$  мм токарным проходным резцом со сменной пластиной с позитивным углом резания, требуемая шероховатость – Rz40, глубина резания 2 мм, протяжённость обрабатываемой поверхности 100 мм. Назначать режимы резания будем по таблицам и формулам из справочников и по специальным фирменным каталогам для современного инструмента, т. к. значения основных показателей режимов резания при использовании такого инструмента несколько отличаются от режимов, приведенных в традиционной литературе вследствие использования сегодня современных подходов к проектированию и изготовлению режущего инструмента.

Итак, сначала рассмотрим режимы резания, обеспечиваемые использованием инструмента фирмы Walter. По таблицам из общего каталога выбираем режущую пластину с соответствующей

геометрией и нужного материала, затем определяем соответствующие режимы резания. Для данного материала заготовки выбираем величину подачи:

$$s = 0,5 \text{ мм/об},$$

тогда скорость резания принимаем:

$v_c = 1560$  м/мин, а число оборотов считаем по известной формуле:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_c \cdot \pi} = \frac{1560 \cdot 1000}{130 \cdot 3,14} \approx 3800 \text{ об/мин},$$

Далее определяем основную силу резания  $P_z$  (по формуле из каталога):

$$P_z = A \cdot k_c 1,1 \cdot h^{-m_c},$$

где  $A$  – поперечное сечение стружки,  $k_c 1,1$  – удельная сила резания по отношению к поперечному сечению стружки в  $1 \text{ мм}^2$ ,  $h$  – толщина стружки,  $m_c$  – подъём кривой  $k_c$ .

$$P_z = 1 \cdot 700 \cdot 0,49^{-0,25} = 837 \text{ Н}.$$

Находим потребляемую мощность:

$$N = \frac{P_z \cdot v_c}{60000 \cdot 2} = \frac{837 \cdot 1560}{60000 \cdot 2} = 10,9 \text{ кВт}$$

Определяем величину времени, затрачиваемого на резание (период контактирования):

$$t_0 = \frac{L}{S \cdot n} = \frac{100}{0,5 \cdot 3800} = 0,05 \text{ мин}$$

Теперь посчитаем режимы резания при использовании пластины фирмы Sandvik (алгоритм такой же, как при расчёте режимов резания для пластины фирмы Walter)

$$s = 0,6 \text{ мм/об},$$

$$v_c = 2000 \text{ м/мин},$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_c \cdot \pi} = \frac{2000 \cdot 1000}{130 \cdot 3,14} \approx 4900 \text{ об/мин},$$

$$P_z = 1,2 \cdot 700 \cdot 0,59^{-0,25} = 958 \text{ Н}$$

$$N = \frac{P_z \cdot v_c}{60000 \cdot 2} = \frac{958 \cdot 2000}{60000 \cdot 2} = 16 \text{ кВт}$$



$$t_0 = \frac{L}{S \cdot n} = \frac{100}{0,6 \cdot 4900} = 0,03 \text{ мин}$$

Определяя режимы резания с помощью таблиц из традиционного справочника по режимам резания металлов [6], имеем следующие величины:

$$s = 0,65 - 0,7 \text{ мм/об, принимаем } s = 0,7 \text{ мм/об,}$$

$$v_c = 300 \text{ м/мин,}$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_c \cdot \pi} = \frac{300 \cdot 1000}{130 \cdot 3,14} \approx 640 \text{ об/мин,}$$

Основную силу резания найдём по формуле из справочника:

$$P_z = K \cdot t \cdot s,$$

где  $K$  – коэффициент, который находим по таблице из справочника.

$$P_z = 800 \cdot 2 \cdot 0,7 = 1120 \text{ Н,}$$

$$N = \frac{P_z \cdot v_c}{60000 \cdot 2} = \frac{1120 \cdot 300}{60000 \cdot 2} = 2,8 \text{ кВт}$$

$$t_0 = \frac{L}{S \cdot n} = \frac{100}{0,7 \cdot 640} = 0,22 \text{ мин}$$

Теперь рассмотрим режимы резания, которые получатся при обработке той же заготовки, только из стали 45. Исходные данные те же. Рассмотрим инструмент фирмы Walter. По каталогу выбираем соответствующую режущую пластину с нужной геометрией, затем подбираем и считаем режимы резания.

$$s = 0,3 \text{ мм/об,}$$

$$v_c = 480 \text{ м/мин,}$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_c \cdot \pi} = \frac{480 \cdot 1000}{130 \cdot 3,14} = 1175 \text{ об/мин,}$$

$$P_z = 0,6 \cdot 1500 \cdot 0,295^{-0,25} = 1221 \text{ Н,}$$

$$N = \frac{P_z \cdot v_c}{60000 \cdot 2} = \frac{1221 \cdot 480}{60000 \cdot 2} = 4,9 \text{ кВт,}$$

$$t_0 = \frac{L}{S \cdot n} = \frac{100}{0,3 \cdot 1175} = 0,28 \text{ мин.}$$

Рассчитываем режимы резания при использовании инструмента фирмы Sandvik:

$$\begin{aligned} s &= 0,4 \text{ мм/об,} \\ v_c &= 360 \text{ м/мин,} \\ n &= \frac{v_c \cdot 1000}{D_c \cdot \pi} = \frac{360 \cdot 1000}{130 \cdot 3,14} = 882 \text{ об/мин,} \\ P_z &= 0,8 \cdot 1500 \cdot 0,295^{-0,25} = 1628 \text{ Н,} \\ N &= \frac{P_z \cdot v_c}{60000 \cdot 2} = \frac{1628 \cdot 360}{60000 \cdot 2} = 4,9 \text{ кВт,} \\ t_0 &= \frac{L}{S \cdot n} = \frac{100}{0,2 \cdot 882} = 0,29 \text{ мин.} \end{aligned}$$

При точении обычным инструментом получим:

$$\begin{aligned} s &= 0,5 \text{ мм/об,} \\ v_c &= 166 \text{ м/мин,} \\ n &= \frac{v_c \cdot 1000}{D_c \cdot \pi} = \frac{166 \cdot 1000}{130 \cdot 3,14} = 407 \text{ об/мин,} \\ P_z &= 1780 \cdot 2 \cdot 0,5 = 1780 \text{ Н,} \\ N &= \frac{P_z \cdot v_c}{60000 \cdot 2} = \frac{1780 \cdot 360}{60000 \cdot 2} = 5,4 \text{ кВт,} \\ t_0 &= \frac{L}{S \cdot n} = \frac{100}{0,5 \cdot 407} = 0,49 \text{ мин.} \end{aligned}$$

Далее рассмотрим в качестве примера, как изменяются режимы резания при сверлении, если поочерёдно использовать режущий инструмент трёх вышеприведенных фирм. Для этого просверлим отверстие  $d=16$  мм и глубиной 80 мм в заготовке из алюминиевого сплава, а затем из стали 45.

Как и ранее, сначала применим инструмент фирмы Walter. Возьмём сверло со сменными многогранными пластинами. Пластины выбираем по каталогу, исходя из обрабатываемого материала, условий

обработки и глубины сверления. Для выбранной пластины определяем режимы резания.

$$s = 0,16 \text{ мм/об},$$

$$v_c = 500 \text{ м/мин},$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_c \cdot \pi} = \frac{500 \cdot 1000}{16 \cdot 3,14} = 9953 \text{ об/мин},$$

Так как наш станок не обеспечит такое высокое число оборотов, то уменьшим скорость резания до  $v_c = 400$  м/мин, тогда получим:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_c \cdot \pi} = \frac{400 \cdot 1000}{16 \cdot 3,14} = 7961 \text{ об/мин},$$

Находим осевую силу  $P_0$  и крутящий момент  $M_{кр}$ :

$$P_0 = 0,63 \cdot \frac{s \cdot D_c \cdot k_c}{2},$$

$$M_{кр} = \frac{D_c^2 \cdot k_c \cdot s}{8000},$$

где  $k_c$  – удельная сила резания, которая находится по формуле:

$$k_c = \frac{k_{c1,1}}{h^{m_c}},$$

где  $k_{c1,1}$  – удельная сила резания по отношению к попечечному сечению стружки в  $1 \text{ мм}^2$  (находится по таблице из каталога),  $m_c$  – коэффициент подъёма кривой  $k_c$  (находится по таблице из каталога),  $h$  – толщина стружки,

$$k_c = \frac{700}{0,075^{0,25}} = 1338 \text{ Н/мм}^2,$$

$$P_0 = 0,63 \cdot \frac{0,16 \cdot 16 \cdot 1338}{2} = 1079 \text{ Н},$$

$$M_{кр} = \frac{16^2 \cdot 700 \cdot 0,16}{8000} = 3,6 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

Затем определяем мощность резания:

$$N_e = \frac{Q \cdot k_c}{60000 \cdot \eta},$$

где  $Q$  – скорость съёма металла,  $\eta$  - КПД станка (0,7 – 0,95),

$$Q = \frac{v_f \cdot \pi \cdot D_c^2}{4 \cdot 1000},$$

где  $v_f$  – скорость подачи,

$$v_f = s \cdot n = 0,16 \cdot 7961 = 1274 \text{ мм/мин},$$

$$Q = \frac{1274 \cdot 3,14 \cdot 16^2}{4 \cdot 1000} = 256 \text{ см}^3 / \text{мин},$$

$$N_e = \frac{256 \cdot 1338}{60000 \cdot 0,85} = 6,7 \text{ кВт},$$

Находим время, затрачиваемое на сверление данного отверстия:

$$t_0 = \frac{l_1 + l_0 + l_2}{s \cdot n},$$

где  $l_0$  – глубина сверления,  $l_1$  – путь врезания инструмента,  $l_2$  - величина выхода,

$$t_0 = \frac{2,88 + 80 + 1}{0,16 \cdot 7961} = 0,07 \text{ мин}.$$

Теперь найдём режимы резания при сверлении того же отверстия инструментом фирмы Sandvik. Для этого воспользуемся фирменным каталогом и выберём подходящую пластину и режимы резания:

$$s = 0,12 \text{ мм/об},$$

$$v_c = 350 \text{ м/мин},$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_c \cdot \pi} = \frac{300 \cdot 1000}{16 \cdot 3,14} = 6967 \text{ об/мин},$$

$$P_0 = 0,63 \cdot \frac{s \cdot D_c \cdot k_c}{2} = 0,63 \cdot \frac{0,12 \cdot 16 \cdot 1440}{2} = 870,9 \text{ Н},$$

$$M_{кр} = \frac{D_c^2 \cdot k_c \cdot s}{8000} = \frac{16^2 \cdot 1440 \cdot 0,12}{8000} = 5,5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$N_e = \frac{Q \cdot k_c}{60000 \cdot \eta} = \frac{168 \cdot 1440}{6000 \cdot 0,85} = 4,7 \text{ кВт},$$

где Q нашли по формуле, приведенной выше,

$$t_0 = \frac{l_1 + l_0 + l_2}{s \cdot n} = \frac{2,88 + 80 + 1}{0,12 \cdot 6967} = 0,1 \text{ мин.}$$

Далее посчитаем режимы резания в рамках той же задачи, используя данные из традиционного справочника, используемого при обработке обычным инструментом:

$$s = 0,76 \text{ мм/об},$$

$$v_c = 57 \text{ м/мин},$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_c \cdot \pi} = \frac{57 \cdot 1000}{16 \cdot 3,14} = 1135 \text{ об/мин},$$

Находим осевую силу  $P_0$  и крутящий момент  $M_{кр}$ :

$$P_0 = 10 C_p \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p,$$

$$M_{кр} = 10 C_m \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p,$$

где  $C_p$ ,  $K_p$ ,  $q$ ,  $y$  находим по таблицам из справочника,

$$P_0 = 10 \cdot 9,8 \cdot 16^1 \cdot 0,76^{0,7} \cdot 1 = 1294 \text{ Н},$$

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,005 \cdot 16^2 \cdot 0,76^{0,8} \cdot 1 = 10,25 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} = \frac{10,25 \cdot 1135}{9750} = 1,2 \text{ кВт},$$

$$t_0 = \frac{l_1 + l_0 + l_2}{s \cdot n} = \frac{2,88 + 80 + 1}{0,76 \cdot 1135} = 0,1 \text{ мин.}$$

Теперь рассмотрим режимы резания, которые получатся при сверлении той же заготовки, только из стали 45. Исходные данные те же. Рассмотрим инструмент фирмы Walter:

$$s = 0,1 \text{ мм/об}.$$

$$v_c = 220 \text{ м/мин},$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_c \cdot \pi} = \frac{220 \cdot 1000}{16 \cdot 3,14} = 4379 \text{ об/мин},$$

$$P_0 = 0,63 \cdot \frac{s \cdot D_c \cdot k_c}{2} = 0,63 \cdot \frac{0,1 \cdot 16 \cdot 3355}{2} = 1691 \text{ Н},$$

$$M_{кр} = \frac{D_c^2 \cdot k_c \cdot s}{8000} = \frac{16^2 \cdot 3355 \cdot 0,1}{8000} = 10,7 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$N_e = \frac{Q \cdot k_c}{60000 \cdot \eta} = \frac{88 \cdot 3355}{60000 \cdot 0,85} = 5,8 \text{ кВт},$$

$$t_0 = \frac{l_1 + l_0 + l_2}{s \cdot n} = \frac{2,88 + 80 + 1}{0,1 \cdot 4379} = 0,19 \text{ мин.}$$

Далее используем сверло фирмы Sandvik:

$$s = 0,1 \text{ мм/об},$$

$$v = 230 \text{ м/мин},$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_c \cdot \pi} = \frac{230 \cdot 1000}{16 \cdot 3,14} = 4578 \text{ об/мин},$$

$$P_0 = 1691 \text{ Н},$$

$$M_{кр} = 10,7 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$N_e = \frac{Q \cdot k_c}{60000 \cdot \eta} = \frac{88 \cdot 3355}{60000 \cdot 0,85} = 6,05 \text{ кВт},$$

$$t_0 = \frac{l_1 + l_0 + l_2}{s \cdot n} = \frac{2,88 + 80 + 1}{0,1 \cdot 4578} = 0,18 \text{ мин.}$$

Если использовать обычный инструмент, получим:

$$s = 0,46 \text{ мм/об},$$

$$v = 24 \text{ м/мин},$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_c \cdot \pi} = \frac{24 \cdot 1000}{16 \cdot 3,14} = 478 \text{ об/мин},$$

Находим осевую силу  $P_0$  и крутящий момент  $M_{кр}$ :

$$P_0 = 10C_p \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p,$$

$$M_{кр} = 10C_m \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p,$$

где  $C_p$ ,  $K_p$ ,  $q$ ,  $y$  находим по таблицам из справочника,

$$P_0 = 10 \cdot 68 \cdot 16^1 \cdot 0,46^{0,7} \cdot 0,85 = 5370 \text{ Н},$$

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 16^2 \cdot 0,46^{0,8} \cdot 85 = 40,3 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} = \frac{40,3 \cdot 478}{9750} = 2 \text{ кВт},$$

$$t_0 = \frac{l_1 + l_0 + l_2}{s \cdot n} = \frac{2,88 + 80 + 1}{0,46 \cdot 478} = 0,38 \text{ мин.}$$

Таким образом, рассчитав режимы резания для двух вариантов механической обработки, используя три вида инструмента, мы можем составить вполне определённую картину в отношении преимуществ и недостатков использования инструмента той или иной марки. Для этого результаты расчёта сведём в таблицы (таблицы 4.1, 4.2).

Из таблиц видно, что обычный режущий инструмент значительно уступает современному по многим параметрам. При одинаковых условиях обработки производительность с использованием современного инструмента существенно выше, чем с применением обычного. Это объясняется более значительными скоростями резания, высокими оборотами, хотя величина подачи при использовании прогрессивного инструмента зачастую ниже.

Таблица 4.1 – Режимы резания при точении

Режимы резания	Режущий инструмент					
	Walter		Sandvik		Обычный инструмент	
	АМг6	Сталь 45	АМг6	Сталь 45	АМг6	Сталь 45
$s$ , мм/об	0,5	0,3	0,6	0,4	0,7	0,5
$v$ , м/мин	1560	480	2000	360	300	166
$n$ , об	3600	1175	4900	882	640	407
$P_z$ , Н	837	1221	958	1628	1120	1780
$N$ , кВт	10,9	4,9	16	4,9	2,8	5,4
$t_0$ , мин	0,05	0,28	0,03	0,29	0,22	0,49

Таблица 4.2 – Режимы резания при сверлении

Режимы резания	Режущий инструмент					
	Walter		Sandvik		Обычный инструмент	
	АМг6	Сталь 45	АМг6	Сталь 45	АМг6	Сталь 45
$s$ , мм/об	0,16	0,1	0,12	0,1	0,76	0,46
$v$ , м/мин	500	220	350	230	57	2,4
$n$ , об	7961	4379	6967	4578	1135	478
$P_0$ , Н	1079	1691	870	1691	1294	5370
$M_{кр}$ , Нм	3,6	10,7	5,5	10,7	10,25	40,3
$N$ , кВт	6,7	5,8	4,7	6,05	1,2	2
$t_0$ , мин	0,07	0,19	0,1	0,18	0,1	0,38

Также примечательно, что силы резания в зоне обработки существенно меньше, что оказывает положительное влияние на систему СПИД. Для наглядности отметим некоторые показатели результата использования режущего инструмента трёх фирм на рисунках 4.1, 4.2.

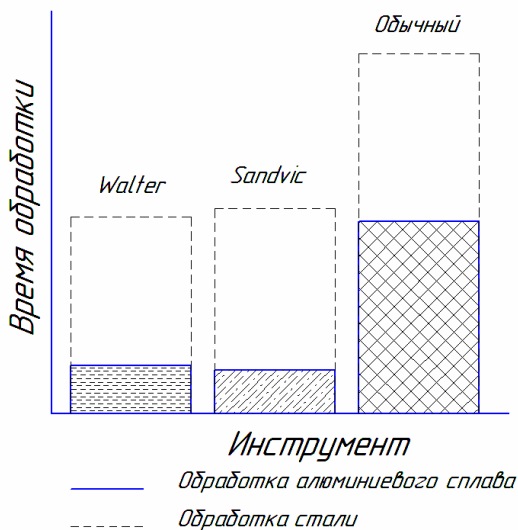


Рисунок 4.1 – Токарная обработка



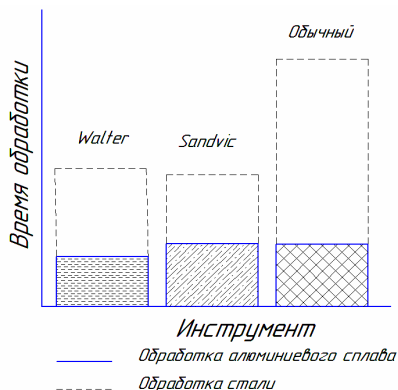


Рисунок 4.3 – Сверление

Исходя из вышеприведённого анализа, можно сделать вывод, что современный режущий инструмент по параметрам режимов резания превосходит обычный. Этот факт можно объяснить следующими обстоятельствами:

- использование новых геометрий инструмента;
- эффективное использование режущих кромок;
- более высокая стойкость;
- использование современных сплавов для изготовления режущих пластин;
- сверхжёсткое крепление.

Таким образом, принимая во внимание приведенные выше обстоятельства, мы приходим к заключению о том, что современный режущий инструмент благодаря своим улучшенным характеристикам позволяет использовать более оптимальные и высокие режимы резания, что напрямую влияет на повышение производительности процесса механической обработки.

Если рассматривать только прогрессивный режущий инструмент, представленный различными производителями, то здесь ситуация несколько иная. Если при прочих равных условиях использовать один и тот же тип инструмента, но различных фирм (марок), можно заметить, что режимы резания, а, следовательно, и производительность при таком использовании будет отличаться незначительно. Значит, ключевую роль при выборе современного прогрессивного инструмента будут играть несколько другие обстоятельства, такие как стоимость, гарантия, сервисное обслуживание и

т. д. Таким образом, режущий инструмент фирмы Wallter ни в чём не уступает инструменту других марок, а по некоторым показателям даже превосходит, поэтому мы смело можем его использовать для обработки детали «Корпус ДСИ».

## 4.2. Выбор инструмента и режимов резания

В современном производстве широкое распространение получило применение фирменного режущего инструмента. Особенно актуально это для современных обрабатывающих центров, которые позволяют развивать значительно большие мощности, и в которых, как следствие, стало возможно использование больших подач и скоростей резания, с которыми классический инструмент не справляется. Небольшой анализ, касающийся данного утверждения мы провели ранее. В качестве инструмента используемого для обрабатывающего центра WFL M40G был выбран инструмент производимой немецкой компанией Walter. Компания Walter – мировой лидер в производстве режущего инструмента для металлообрабатывающей промышленности, ассортимент выпускаемой продукции которого превышает 25000 наименований.

В процессе проектирования обработки детали необходимый инструмент выбирался из каталога компании, и по рекомендациям каталога в соответствие с требуемым качеством поверхности были назначены режимы резания.

Использование нормативного метода является наиболее оптимальным, т.к. этот метод быстрее расчета по формулам с использованием коэффициентов, и снижает вероятность поломки инструмента или преждевременно его износа, поскольку все указанные в каталоге показатели по стойкости инструмента гарантируются производителем. Тем не менее, для определения некоторых параметров режимов резания в каталоге приведены специальные формулы, применимые только при использовании инструмента, представленного в данном каталоге.

Выбор режущего инструмента и режимов резания на операцию 10 (а) (токарно-фрезерная обработка первой стороны) Черновая подрезка торца “1”  
Резец проходной упорный (инструмент является сборным):

### 1. Выбор пластины.

Для выбора пластины воспользуемся методикой изложенной на странице 20 каталога [5].

а) Материал заготовки: АМг6, группа обработки “21” (назначение групп происходит на странице 774 каталога).

б) Средние условия обработки (стабильность станка, системы зажима заготовки - хорошая; тип заготовки - средняя степень прерывания резания.)

в) Определим форму пластины – “PM 2” позитивная основная форма (для обработки цветных металлов).

г) Определим материал режущего инструмента- твердосплавная пластина без износостойкого покрытия “WXN 10”.

Полученным значениям удовлетворяет пластина CCGT 120408-PM2 WXN 10, которая имеет следующие параметры: ромбическая с углом  $80^{\circ}$ , длиной режущей кромки  $l = 12,9\text{мм}$ , радиусом при вершине  $r = 0,8\text{мм}$  и задним углом  $7^{\circ}$ .

### 2. Определим режимы резания.

На странице 195 каталога, для группы обработки “21”, пластины “WXN 10” и подачи 0,5 мм/об рекомендуемая скорость резания равна 1560 м/мин.

3. HSK63A-PDJCL-35085-11 - корпус в сборе.

4. FS 1064- узел переходной.

Режущий инструмент в сборе представлен на рисунке 4.3.

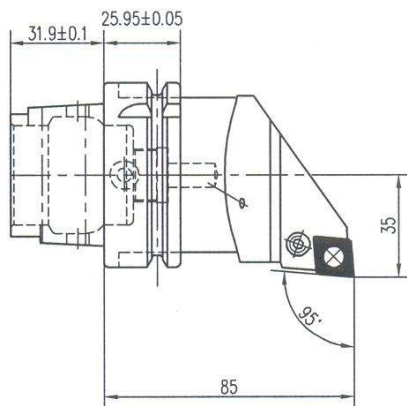


Рисунок 4.3 – Резец проходной упорный

Корпус в сборе.....	HSK63A-PDJCL-35085-11
Пластина сменная многогранная.....	CCGT 120408-PM2 WXN 10
Узел переходной.....	FS 1064

Аналогично определим инструмент и режимы резания и для других переходов.

Предварительная обработка наружной поверхности (формирование поверхностей “6”, “8”, “9”)

Резец проходной упорный (инструмент является сборным):

1. Пластина DCGT11T308-PM2 WK 1, которая имеет следующие параметры: ромбическая с углом  $55^{\circ}$ , длиной режущей кромки  $l = 11,63 \text{ мм}$ , радиусом при вершине  $r = 0,8 \text{ мм}$  и задним углом  $7^{\circ}$ .

2. Определим режимы резания.

На странице 195 каталога, для группы обработки “21”, пластины “WK 1” и подачи 0,5 мм/об рекомендуемая скорость резания равна 1300 м/мин.

3. HSK63A-PDJCL-35085-11 - корпус в сборе.

4. FS 1064- узел переходной.

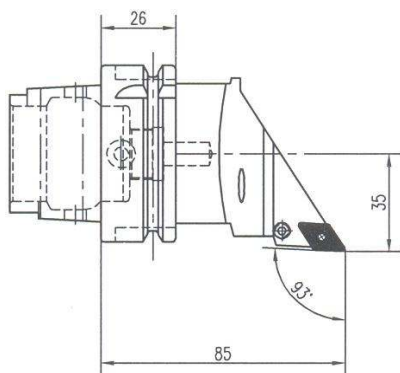


Рисунок 4.4 – Резец проходной упорный

Корпус в сборе.....	HSK63A-PDJCR-35085-11
Пластина сменная многогранная...	DCGT11T308-PM2 WK1
Узел переходной.....	FS 1064

## Обработка центрального отверстия

Сверло диаметром 38 мм (инструмент является сборным):

### 1. Пластина

Для выбора пластины воспользуемся методикой изложенной на странице 228 каталога [5].

а) Материал заготовки: АМг6, группа обработки “21” (назначение групп происходит на странице 774 каталога [5])

б) Условия обработки хорошие ( стабильность станка, системы зажима заготовки - хорошая; заход/выход, плоская поверхность.)

в) Выберем режущий инструмент на странице 263 каталога [5] (глубина сверления  $4 \times D_c$ ; направление вращения правое, диаметр сверла 42мм.). Данным значениям удовлетворяет режущий инструмент В 3214.F.042.z01.168R (страница 282 каталога [5]).

г) Данный режущий инструмент оснастим пластиной Р 28469 WK 40 (согласно таблице на странице 283 каталога [5])

Выбранная пластина является твердосплавной без износостойкого покрытия, которая имеет следующие параметры: квадратная с длиной режущей кромки  $l = 12,7 \text{ мм}$ , углом между гранями  $\varepsilon = 96^\circ$  и задним углом  $11^\circ$ .

### 2. Определим режимы резания.

На странице 334 каталога [5], для группы обработки “21”, пластины “WK 40” и подачи 0,14 мм/об рекомендуемая скорость резания равна 350 м/мин.

3. HSK63A- В 3214.F.042.z01.168R - корпус в сборе.

4. FS 1064- узел переходной.

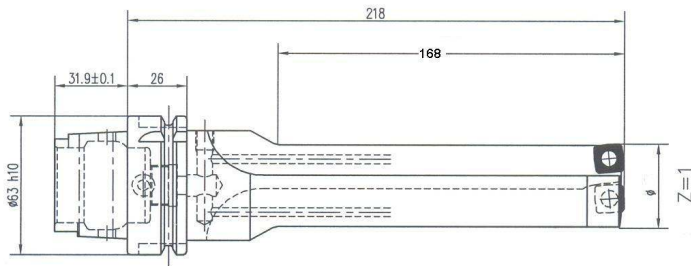


Рисунок 4.5 – Сверло

Корпус в сборе..... HSK63A- В

3214.F.038.z01.152R

Пластина сменная многогранная..... DCGT 11T308-PM2 WK 1  
Узел переходной..... FS 1064

Черновое растачивание отверстия (формирование поверхностей “1”, “2”)

Резец расточной (инструмент является сборным):

1. Выбор пластины.

Для выбора пластины воспользуемся методикой изложенной на странице 234 каталога [5].

а) Материал заготовки: АМг6, группа обработки “21” (назначение групп происходит на странице 774 каталога [5])

б) Средние условия обработки ( стабильность станка, системы зажима заготовки - хорошая; тип заготовки - средняя степень прерывания резания.)

в) Определим форму пластины – “PM 2” позитивная основная форма (для обработки цветных металлов).

г) Определим материал режущего инструмента- твердосплавная пластина без износостойкого покрытия “WK 1”.

Полученным значениям удовлетворяет пластина CCGT 120408-PM2 WK 1, которая имеет следующие параметры: ромбическая с углом  $80^{\circ}$ , длиной режущей кромки  $l = 12,9 \text{ мм}$ , радиусом при вершине  $r = 0,8 \text{ мм}$  и задним углом  $7^{\circ}$ .

2. Определим режимы резания.

На странице 353 каталога [5], для группы обработки “21”, пластины “WK 1”и подачи 0,2 мм/об рекомендуемая скорость резания равна 1000 м/мин.

3. HSK63A-PCLCL-2211512-12 - корпус в сборе.

4. FS 1064- узел переходной.

Режущий инструмент в сборе представлен на рисунке 4.6.

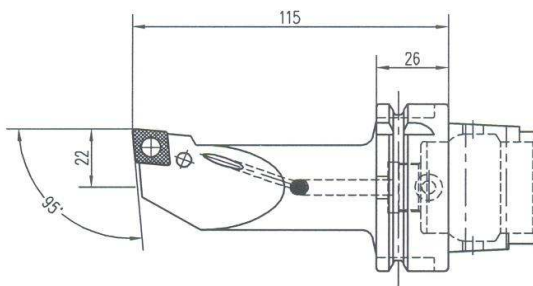


Рисунок 4.6 – Резец расточной

Корпус в сборе.....	HSK63A-PCLCL-22115-12
Пластина сменная многогранная.....	CCGT 120408-PM2 WK 1
Узел переходной.....	FS 1064

Предварительная обточка внешней канавки (формирование поверхностей “11”, “12”, “13”)

Резец канавочный (инструмент является сборным):

1. Выбор пластины.

Для выбора пластины воспользуемся методикой изложенной на странице 42 каталога [5].

а) Материал заготовки: АМг6, группа обработки “21” (назначение групп происходит на странице 774 каталога [5])

б) Средние условия обработки ( стабильность станка, системы зажима заготовки - хорошая; тип заготовки - средняя степень прерывания резания.)

в) Определим материал режущего инструмента - твердосплавная пластина без износостойкого покрытия “WK 1” (стружколом FX-27P) .

Полученным значениям удовлетворяет пластина FX 4.1N0.15-27P WK 1, которая имеет следующие параметры: длина режущей кромки  $s = 4,1\text{мм}$  , радиусом  $r = 0,15\text{мм}$  и задним углом  $7^{\circ}$  .

2. Определим режимы резания.

На странице 206 каталога [5], для группы обработки “21” , пластины “WK 1” и подачи 0,2 мм/об рекомендуемая скорость резания равна 650 м/мин.

3. HSK63A-NCDE25L-FX41-35 - корпус в сборе.

4. FS 1064- узел переходной.

Полученный инструмент представлен на рисунке 4.7.

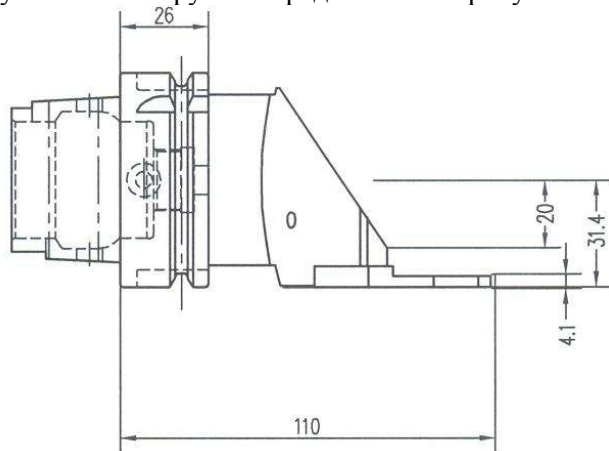


Рисунок 4.7 – Резец канавочный

Корпус в сборе.....	HSK63A-NCDE25L-FX41-35
Пластина сменная многогранная.....	FX 4.1N0.15-27P WK 1
Узел переходной.....	FS 1064

Черновое фрезерование (формирование поверхности “10” )

Фреза концевая диаметром 50мм (инструмент является сборным)

1. Выбор пластины.

Для выбора пластины воспользуемся методикой изложенной на странице 378 каталога [5].

а) Материал заготовки: АМг6, группа обработки “21” (назначение групп происходит на странице 774 каталога [5])

б) Средние условия обработки (стабильность станка, системы зажима заготовки - хорошая; выступающая часть инструмента - короткая.)



в) Выберем подходящий инструмент на странице 491 каталога [5] (тип обработки - обработка уступов). Режущий инструмент F3042.B.050.Z07.09

г) Определим марку и геометрию сменной пластины – APHT 0903 PPR-K88 WK10 (группа обработки “21”; условия обработки средние). Пластина имеет следующие параметры: позитивная, ромбическая форма; длиной режущей кромки  $l_2 = 9,52 \text{ мм}$ , радиусом при вершине  $r = 0,4 \text{ мм}$  и задним углом  $11^\circ$ . Материал: твердосплавная пластина без износостойкого покрытия WK 10.

2. Определим режимы резания.

На странице 662 каталога [5], для группы обработки “21”, фрезы типа F3042 при глубине резания  $a_p = 9 \text{ мм}$  рекомендована подача 0,12 мм на один зуб. На странице 609 каталога [5], для материала WK-10 рекомендуемая скорость резания равна 1500 м/мин.

3. A155.7.063.050.22.HSK - оправка в сборе.

4. FS 1064- узел переходной.

Режущий инструмент в сборе представлен на рисунке 4.9.

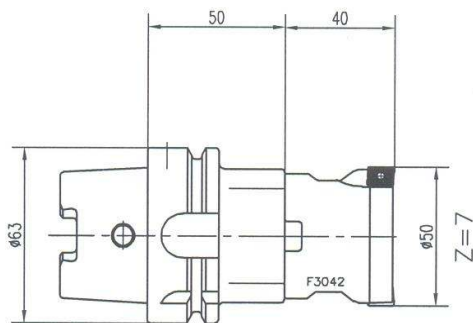


Рисунок 4.9 – Фреза

Оправка в сборе.....	A155.7.063.050.22.HSK
Корпус в сборе.....	F3042.B.050.Z07.09
Пластина сменная многогранная...	APHT 0903 PPR-R88 WK10

Фрезерование торца бобышки (формирование поверхности “39”)

Фрезерование граней бобышки

Фреза концевая диаметром 32 мм. (инструмент является сборным)

1. Выбор пластины.

Для выбора пластины воспользуемся методикой изложенной на странице 378 каталога [5].

а) Материал заготовки: АМг6, группа обработки “21” (назначение групп происходит на странице 774 каталога [5])

б) Средние условия обработки (стабильность станка, системы зажима заготовки - хорошая; выступающая часть инструмента - удлиненная)

в) Выберем подходящий инструмент на странице 491 каталога [5] (тип обработки - обработка уступов). Режущий инструмент F3040.T28.032.Z02.20

г) Определим марку и геометрию сменной пластины –ZDGT 200508R-K85 WK10 (группа обработки “21”; условия обработки средние). Пластина имеет следующие параметры: позитивная, ромбическая форма; длиной режущей кромки  $l_2 = 21,3\text{мм}$ , радиусом при вершине  $r = 0,8\text{мм}$  и задним углом  $15^0$ . Материал: твердосплавная пластина без износостойкого покрытия WK 10.

2. Определим режимы резания.

На странице 623 каталога [6], для группы обработки “21”, для фрезы типа F3040 рекомендована подача 0,15 мм на один зуб. На странице 609 каталога [5], для материала WK-10 рекомендуемая скорость резания равна 1500 м/мин.

3. АК530.Н63А.T28.090 - оправка в сборе.

4. FS 1064- узел переходной.

Режущий инструмент в сборе представлен на рисунке 4.10.

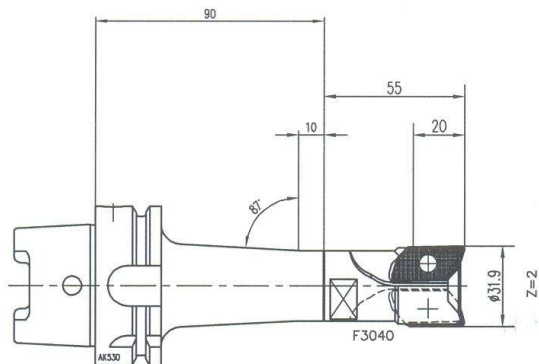


Рисунок 4.10 – Фреза

Оправка в сборе.....	AK530.H63A.T28.090
Корпус в сборе.....	F3040.T28.032.Z02.20
Пластина сменная многогранная.....	ZDGT 200508R-K85 WK10
Узел переходной.....	FS 1064

Сверление трех отверстий диаметром 38мм под заход фрезы в окна  
Фрезерование окон (формирование поверхностей “37”, ”36”, ”35”,  
“38”)

Выбор режущего инструмента и режимов резания на операцию 10 (б)  
(токарно-фрезерная черновая обработка второй стороны)

На данной операции будет использоваться аналогичный инструмент и  
режимы резания, что и в операции 15.

Сверление центрального отверстия (формирование поверхностей “21”)

Сверление трех отверстий под заход фрезы для обработки окон  
(формирование поверхностей “37”, ”36”, ”35”, ”38”)

Черновое растачивание отверстия (формирование поверхностей “17”,  
“18”, “19”, “20”)

Резец расточной (рисунок 4.11).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Виттингтон К., Власов В. Высокоскоростная механообработка // САПР и графика, - 2002. – №11.
2. Заякин С. Режет все таки инструмент // Оборудование. – 2006г. - № 109.
3. По материалам сайта: [www.mitsubishicarbide.ru](http://www.mitsubishicarbide.ru).
4. Макларенс Э.А. Без компромиссов к режущей кромке// Metalworking world. – 2006. – №2, с. 17 – 18.
5. Е.Э.Фельдштейн, М.А.Корниевич. Обработка деталей на станках с ЧПУ: учеб. пособие / Е.Э.Фельдштейн, М.А.Корниевич. 2-Зизд., испр. – Мн.: Новое знание, 2006.-287с.
6. ГОСТ Р 51547 - 2000 - Хвостовики инструментов полые конические, тип HSK. М.: Издательство стандартов, 2000.
7. Малыгина Е. Применение хвостовиков с конусностью 7:24 и возможные альтернативы // Стружка. – 2004. – №1, с. 30 – 32.
8. Основной каталог Sandvick Coromant 2007.
9. Основной каталог ISCAR 2007.
10. Виттингтон К., Власов В. Высокоскоростная механообработка // САПР и графика. 2002. № 1. С. 107-113.
11. Высокопроизводительная обработка металлов резанием. М.: изд-во «Полиграфия» 2003. – 301с.
12. Автоматизация технологии изготовления газотурбинных авиационных двигателей. Часть первая/ В.Ф.Безъязычный, В.Н.Крылов, В.А.Полетаев и др.: Под ред. В.Ф.Безъязычного, В.Н.Крылова. – М.: Машиностроение, 2005. – 560с.
13. Винкоп С. Использование Microsoft SQL Server 7.0. Издательский дом “Вильямс”. – 2001. – 816с.
14. Маталин А.А., Дашевский Т.Б., Княжицкий И.И. Многооперационные станки. М.: Машиностроение. – 1974. – 320с.

Учебное издание

Болотов Михаил Александрович  
Жидяев Алексей Николаевич  
Проничев Николай Дмитриевич  
Хаймович Александр Исаакович

***РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО НАЗНАЧЕНИЮ  
РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ  
И ВЫБОРУ ИНСТРУМЕНТОВ***

*Методические указания*

Научный редактор  
Редакторская обработка  
Корректорская обработка  
Компьютерная верстка А.Н. Жидяев

Самарский государственный  
Аэрокосмический университет.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

---

Изд-во Самарского государственного  
аэрокосмического университета.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34