Министерство образования и науки РФ

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ФАКУЛЬТЕТ МАШИНОСТРОЕНИЯ И ТРАНСПОРТА
Кафедра Технология машиностроения

ОТЧЕТ
О ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКЕ (НИР)

В организации (название полное): каф. «Технология машиностроения» ПГУ

Направление подготовки **15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств**

Профиль подготовки – **Технология машиностроения**

Квалификация (степень) выпускника – **Бакалавр**

Студент группы 16ММ1

Лесонен С.С
(Ф.И.О.)

Руководитель: д.т.н., доцент Таранцев К.В.
к.т.н., доцент Гурин П.А.

(научная степень, звание, Ф.И.О.)

Пенза 2020

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
«Технология машиностроения»,
д.т.н., профессор
_____ Зверовщиков А.Е.
«___» _____201__г.

ЗАДАНИЕ
на ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ ПРАКТИКУ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ РАБОТУ бакалавра
по направлению 15.03.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств
профиль ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

студенту Лесонену Сергею Сергеевичу гр.16мм1

А Тема НИР

Требования к технологичности конструкций деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ.

Б Содержание отчета (вопросы для собеседования)
Технологичность деталей обрабатываемых на станках с ЧПУ, токарных станках с ЧПУ на фрезерных станках с ЧПУ.

В Формы проведения НИР
выполнение на производстве индивидуальных заданий по тематике научно-исследовательских работ, проводимых кафедрой, а также «узких» мест производства

Г Место проведения НИР
Пензенский государственный университет

Д Время и трудоемкость выполнения НИР
с 27.04.2020 по 26.05.2020 г.

Отчет по НИР в письменной форме (по ГОСТ 7.32-2001) или в форме собеседования
Список использованных источников (по ГОСТ Р 7.1–2003 (полное) или ГОСТ Р 7.0.5-2008 (ссылка))
Приложение
Приложение А Аналитический обзор
Приложение Б Предложения по совершенствованию технологии, конструкции оборудования, технологических режимов
Приложение В Перечень выявленных аналогов по результатам обзора литературных источников и патентного поиска
Письменный отчет оформляется на **10...15** страницах (по ГОСТ 2.105-95, ГОСТ 2.106-96)
Зачет с оценкой

Дата выдачи задания _____ Задание выдал _____
Руководитель НИР _____ Задание принял Лесонен С.С.

ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПЛАН
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ (НИР)

студента(-ки) 4 курса Факультета машиностроения и транспорта,

кафедры Технология машиностроения ПГУ

Лесонена Сергея Сергеевича

(фамилия, имя, отчество)

Место прохождения практики: каф. «Технология машиностроения» ПГУ

Сроки практики: с 27.04.2020 по 26.05.2020 г.

Руководитель: Гурин П.А.

(должность, фамилия, инициалы)

Дата (период)	Содержание планируемой работы	Отметка руководителя выполнении
с 27.04.2020 по 26.05.2020	Получение задания. Изучение технической и специальной литературы.	
с 27.04.2020 по 26.05.2020	Совместно с заводскими специалистами определить основные направления по совершенствованию базовой технологии в соответствии с планами технического перевооружения на предприятии.	
с 27.04.2020 по 26.05.2020	На основе заводского опыта организации НИР и аналитического обзора литературных источников подготовить раздел НИР по теме, определенной руководителем.	
с 27.04.2020 по 26.05.2020	Подготовка отчета по НИР для представления к защите.	

ДНЕВНИК
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКИ (НИР)

студента(-ки) __ курса Факультета машиностроения и транспорта,

кафедры Технология машиностроения ПГУ

Лесонена Сергея Сергеевича

(фамилия, имя, отчество)

Место прохождения практики: каф. «Технология машиностроения» ПГУ

Сроки практики: с 27.04.2020 по 26.05.2020 г.

Руководитель практики в организации Зверовщиков А.Е.
(должность, фамилия, инициалы)

Дата (период)	Содержание проведенной работы	Отметка руководителя от предприятия о выполнении
с 27.04.2020 по 26.05.2020	Получение задания. Изучение технической и специальной литературы.	
с 27.04.2020 по 26.05.2020	Совместно с заводскими специалистами определить основные направления по совершенствованию базовой технологии в	
с 27.04.2020 по 26.05.2020	На основе заводского опыта организации НИР и аналитического обзора литературных	
с 27.04.2020 по 26.05.2020	Подготовка отчета по НИР для представления к защите.	

ПЛАН-ГРАФИК

практики

«Согласовано»
Руководитель практики от
кафедры «ТМС» ПГУ

_____
(должность)

_____
(ФИО, подпись)

Пензенский государственный университет

План (график) проведения учебной практики по получению первичных профессиональных умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности студентов 1 курса направления подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств профиля подготовки «Технология машиностроения» на каф. «Технология машиностроения» ПГУ.

(наименование организации)

с 27.04.2020 по 26.05.2020 г. Количество студентов:

№	Раздел (этап) практики	Вид деятельности студентов на практике
1	Прохождение инструктажа по технике безопасности. Получение задания по НИР.	Получение задания. Изучение технической и специальной литературы.
2	Исследование технологических и производственных процессов, средств автоматизации и механизации; предложения по их совершенствованию.	Совместно с заводскими специалистами определить основные направления по совершенствованию базовой технологии в соответствии с планами технического перевооружения на предприятии.
3	Изучение организации НИР на производстве. Тема раздела НИР, связанная с выпускной квалификационной работой.	На основе заводского опыта организации НИР и аналитического обзора литературных источников подготовить раздел НИР по теме, определенной руководителем.
4	Организация приема отчета по НИР.	Подготовка отчета по НИР для представления к защите.

Пензенский государственный университет

Политехнический институт

Факультет машиностроения и транспорта

Кафедра Технология машиностроения

Отзыв руководителя о прохождении производственной (технологической) практики

Студента (ки) Лесонена Сергея Сергеевича

Фамилия, имя, отчество

4 курса, факультета машиностроения и транспорта
Отчет на тему: «практика на каф. «Технология машиностроения» ПГУ»

№ п/п	Критерии оценки	Макс. кол-во баллов	Оценка научного руководителя (по 5-балльной шкале)
1.	Наличие индивидуального задания от организации - места производственной практики, стиль изложения и качество содержания в соответствии с поставленной целью, корректность в сборе, анализе и интерпретации представляемых практических данных	70 баллов	
2.	Степень личного участия студента в представляемом отчете о производственной практике, соответствие отчета требованиям к оформлению, объему и структуре отчета	20 баллов	
3.	Своевременность получения задания и сдачи готового отчета	10 баллов	
	ИТОГОВАЯ ОЦЕНКА*		

Комментарии к оценкам:

_____

_____

_____

Руководитель _____ /подпись/ Гурин П.А., к.т.н, доцент кафедры «ТМС»

(Расшифровка подписи: Ф.И.О., ученая степень, звание, кафедра (место работы)

Дата «26» мая 2020 г.

* Итоговая оценка выставляется как сумма баллов по пяти критериям оценки

Содержание

Введение. ……7

Технологичность деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ……11

Технологичность деталей, обрабатываемых на токарных станках с ЧПУ……...16

Технологичность деталей, обрабатываемых на фрезерных станках с ЧПУ…….22

Список использованных источников……...51

Введение

Важнейшим достижением научно - технического прогресса является комплексная автоматизация промышленного производства. Автоматизация предполагает функционирование многочисленных взаимосвязанных технических средств на основе программного управления и групповой организации производства.

В связи с созданием и использованием гибких производственных комплексов механической обработки резанием особое значение приобретают станки с числовым программным управлением (ЧПУ).

В результате замены универсального неавтоматизированного оборудования станками с ЧПУ трудоемкость изготовления деталей оказалось возможным сократить в несколько раз (до пяти - в зависимости от вида обработки и конструктивных особенностей обрабатываемых заготовок).

Внедрение ЧПУ в технологию машиностроения обусловило необходимость построения числовых моделей технологического, процесса, а, следовательно, широкое использование математических методов и числовой вычислительной техники. Это привело к революционным изменениям в технологии машиностроения. Технология машиностроения из науки, носившей по преимуществу качественный характер, стала превращаться в науку точную. При этом программирование обработки на станках с ЧПУ, возникшее на стыке ряда дисциплин (технологии машиностроения, математики, кибернетики), со временем приобрело самостоятельное значение.

Эксплуатация станков с ЧПУ возможна при наличии не только соответствующего технологического процесса, но и обеспечивающих его исполнение управляющих программ (УП). Поэтому программирование обработки для станков с ЧПУ отличается трудоемкостью и сложностью, требует от технолога высокой профессиональной подготовки, знания не только ряда технологических дисциплин, но и основ программирования, некоторых разделов математики и т. п.

Обеспечение высокого качества технологических процессов и УП при минимальных затратах труда и времени на их подготовку и изготовление - одно из главных условий рационального использования станков с ЧПУ в промышленности. Это условие связано и с новыми принципами организации производства. Появилась новая специальность - технолог-программист. На предприятиях сформировались бюро программного управления (БПУ) для технологического обеспечения станков с ЧПУ.

Программирование технологических процессов для станков с ЧПУ - качественно новый этап, на котором выполняется значительная часть работы, перенесенная из сферы непосредственного производства в область его технологической подготовки. Требования к квалификации оператора станка снижаются, так как задачи стратегии обработки и последовательности ее обработки теперь решает технолог-программист в процессе подготовки УП.

Основные преимущества станков с ЧПУ.

Применение станков с ЧПУ взамен универсального оборудования имеет существенные особенности и создает определенные преимущества, в частности следующие:

- сокращение сроков подготовки производства на 50…75%;

- сокращение общей продолжительности цикла изготовления продукции на 50…60%;

- экономию средств на проектирование и изготовление технологической оснастки на 30…85%;

- повышение производительности труда за счет сокращения вспомогательного и основного времени обработки на станке и многое другое.

Особенность технологической подготовки производства.

Виды и характер работ по технологической подготовке производства с использованием станков с ЧПУ, в том числе и специализированных, существенно отличаются от работ, производимых с помощью обычного универсального оборудования. Значительно возрастают сложность задач и трудоемкость проектирования технологического процесса. Специальные знания (иногда, в том числе и математические), необходимые для составления программы, резко повышают требуемый уровень квалификации технологов. Технологические работы, общие по названию с работами, выполняемыми для оборудования с ручным управлением, имеют иное содержание при применении станков с ЧПУ и требуют иного подхода. К таким работам относятся, например, проработка рабочих чертежей на технологичность, выбор инструмента и оснастки, выработка требований к заготовке.

В общем случае составление программ для станков с ЧПУ начинается с разработки технологического процесса на деталь и выделения операций программируемой обработки. В выбранных операциях после уточнения оборудования выявляют необходимые траектории движения инструментов, скорости рабочих и холостых ходов и др. Направления и величины перемещений устанавливают исходя из конфигурации обрабатываемых поверхностей детали, скорости рабочих ходов, скорости холостых ходов. Полученная в итоге УП представляет собой «сумму указаний» рабочим органам станка на выполнение в определенной последовательности действий, из которых складывается весь процесс обработки детали.

На втором этапе, в соответствии с программой, деталь обрабатывается на станке. Из всех работ в процессе программирования решающими являются сбор, упорядочение и обработка информации, перед тем как будет составлена окончательная программа.

2. Технологичность деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ

Общее понятие технологичности необходимо разделять на:

Производственную – эксплуатационную – ремонтную – технологичность утилизации при необходимости.

Производственная технологичность должна оцениваться по всем видам производственных процессов, задействованных для изготовления данной детали, агрегата, изделия.

Эксплуатационная технологичность детали должна обеспечивать необходимый срок службы с минимальным количеством регламентных работ и затрат времени на их реализацию.

Ремонтная технологичность должна обеспечивать возможность замены детали (агрегата) с минимальными затратами времени на демонтаж и установку новой детали (агрегата).

Технологичность утилизации должна обеспечить минимальные затраты времени на демонтаж и отсутствие загрязнения окружающей среды.

В общем случае технологичность может быть определена по формуле

$$K_i = \prod K_{зi} K_{мi} K_{сбi} K_{испi} K_{экспi} K_{ремi} K_{утi},$$

где K_i — общий коэффициент технологичности;

$K_{зi}$ — результирующий коэффициент технологичности по заготовительно-штамповочному производству;

$K_{мi}$ — результирующий коэффициент технологичности по механосборочному производству;

$K_{сбi}$ — результирующий коэффициент технологичности по агрегатно-сборочному производству;

$K_{испi}$ — результирующий коэффициент технологичности по монтажно-испытательному комплексу;

$K_{\text{реми}}$ — результирующий коэффициент ремонтной технологичности;

$K_{\text{ути}}$ — результирующий коэффициент технологичности утилизации.

В любом случае значение K должно → 1.

Под технологичностью конструкции понимают совокупность конструктивных и технологических решений, обеспечивающих применение прогрессивной технологии и организации производства с наименьшими затратами времени, труда и материалов, которые при заданных масштабах производства обеспечивают наименьшую себестоимость и высокое качество изделий при условии выполнения машиной всех ее функций.

Технологичность конструкции механически обрабатываемых деталей обуславливается следующим:

- обоснованным определением размеров детали и применяемого материала;
- рациональным выбором заготовки;
- простой и удобной для обработки геометрической формой детали;
- рациональной простановкой размеров;
- назначением оптимальной точности размеров и шероховатости поверхности.

Исходя из условий механической обработки, конструкция детали должна удовлетворять следующим основным требованиям:

- деталь должна обладать достаточной точностью и иметь удобную форму для установки на станке при обработке;
- площадь обрабатываемых поверхностей должна быть минимальной;
- обрабатываемые поверхности следует четко разграничивать от необрабатываемых;
- желательно, чтобы обработку поверхностей можно было вести напроход;

- необходимо обеспечивать легкий доступ режущим и измерительным инструментом к обрабатываемым поверхностям, а также удобство выхода режущего инструмента;

- съем материала при обработке должен быть по возможности равномерным и без ударов;

- фасонные поверхности детали следует принимать, по возможности, простыми по геометрическому построению;

- конструкция детали должна давать возможность производить обработку с одной установки всех поверхностей, связанных между собой условиями соосности, перпендикулярности, параллельности;

- форма детали и расположение обрабатываемых поверхностей должны предусматривать возможность применения наиболее производительных методов обработки.

Прежде чем приступить к этапам проектирования технологического процесса, любая конструкция (машина, узел, деталь) должна быть самым тщательным образом проанализирована. Цель такого анализа – выявление недостатков конструкции по сведениям, содержащимся в чертежах и технических требованиях, а также возможное улучшение технологичности рассматриваемой конструкции.

Анализ технологичности конструкции можно разбить на два этапа: технологический контроль чертежей и технологический анализ конструкции**.**

Технологический контроль чертежей сводится к тщательному их изучению. Рабочие чертежи обрабатываемых деталей должны содержать все необходимые сведения, дающие полное представление о детали, т.е. все проекции, размеры и сечения, совершенно четко и однозначно объясняющие ее конфигурацию и возможные способы получения заготовки. На чертеже должны быть указаны все размеры с необходимыми допусками, классы шероховатости обрабатываемых поверхностей, допускаемые отклонения от правильных

геометрических форм, а также взаимного положения поверхностей. Чертеж должен содержать все необходимые сведения о материале детали, термической обработке, массе детали и др.

Таким образом, технологический контроль – важный этап проектирования технологических процессов и во многих случаях способствует выяснению приведенных выше факторов.

Технологический анализ конструкции решает следующие основные задачи: пути возможного уменьшения трудоемкости и металлоемкости конструкции, а также возможность обработки детали высокопроизводительными методами.

Вопросом технологичности конструкции надлежит заниматься на всех последовательных этапах проектирования технологических процессов. Чтобы избежать незамеченных недостатков в конструкции, анализ технологичности целесообразно проводить в определенной последовательности.

1. На основании изучения условий работы конструкций, а также масштаба производства проанализировать возможность упрощения, замены сварной, армированной или сборной конструкцией, а также возможность и целесообразность замены материала.

2. Установить возможность применения высокопроизводительных методов обработки.

3. Определить целесообразность назначения протяженности и размеров обрабатываемых поверхностей, труднодоступные для обработки места.

4. Определить технологическую увязку размеров, оговоренных допусками, классы шероховатости, необходимость дополнительных технологических операций для получения высокой точности обрабатываемых поверхностей.

5. Увязать указанные на чертежах допускаемые отклонения размеров, классы шероховатости и пространственные отклонения по геометрической

форме и взаимному расположению поверхностей с геометрическими погрешностями станков.

6. Определить возможность непосредственного измерения заданных на чертежах размеров.

7. Определить поверхности, которые могут быть использованы при базировании, возможность введения искусственных баз.

8. Определить необходимость дополнительных технологических операций, вызванных специфическими требованиями (например, допустимыми отклонениями в весе детали), и возможность изменения этих требований.

9. Проанализировать возможность выбора рационального метода получения заготовки, учитывая экономические факторы.

10. Предусмотреть в конструкциях деталей, подвергающихся термической обработке, конструктивные элементы, уменьшающие коробление деталей в процессе нагрева и охлаждения, и определить, правильно ли выбраны материалы с учетом термической обработки.

3. Технологичность деталей, обрабатываемых на токарных станках с ЧПУ

К конструкциям деталей, обрабатываемых точением, предъявляется ряд требований, обеспечивающих их технологичность при обработке.

Технологичной является конструкция детали:

- масса которой уравновешена относительно оси вращения;
- отсутствуют нежесткие валы и втулки;
- в чертеже детали используются одинаковые радиусы скруглений;
- режущий инструмент имеет свободный вход и выход из материала заготовки;
- отсутствуют фасонные поверхности, требующие изготовления фасонных резцов;
- диаметры ступеней ступенчатых валов располагаются по возрастающей степени;
- участки вала или отверстия, имеющие один и тот же размер, но разный допуск, разделены кольцевой разделительной канавкой.

Рассмотрим конкретные примеры технологичности конструкции для токарной обработки.

Варианты конструктивного оформления ступенчатых валов с обеспечением перпендикулярности торцовых поверхностей к оси вала приведены на рисунке 1.

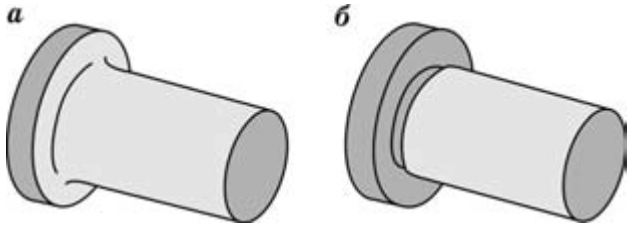


Рисунок 1 – Варианты конструктивного оформления валов с обеспечением перпендикулярности торцовых поверхностей к оси вала

Для универсальных станков технологичен вариант 1*б*, но его применение снижает усталостную прочность деталей, он непригоден для деталей из высокопрочных материалов из-за чувствительности к концентраторам напряжений. Кроме того, его применение способствует увеличению трудоемкости изготовления из-за необходимости раздельной обработки поверхностей. Для станков с ЧПУ вариант 1*а* более технологичен.

Для станков токарной группы:

- нет необходимости применять специальный канавочный резец, что экономит одну позицию в револьверной головке;
- чистовое или тонкое точение выполняется одним копировальным резцов, который обрабатывает цилиндр, галтель и торец.

Валы приведены на рисунке 2.

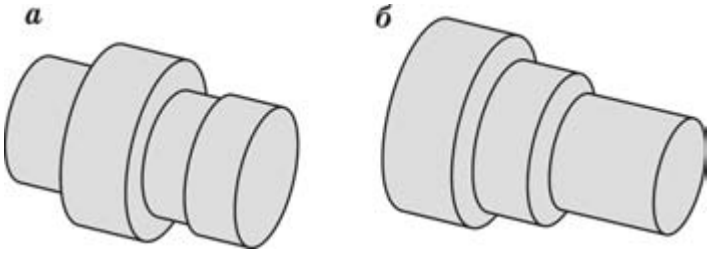


Рисунок 2 – **Конструктивные элементы валов**

Вал по варианту 2*а* нетехнологичен для универсального оборудования, для станков с ЧПУ его следует признать технологичным для материалов, при обработке которых получение транспортабельной стружки обычными методами затруднено (особенно для сталей типа ВНС). Удаление основного массива материала при радиальном врезании значительно упрощает геометрию передней поверхности, дробление стружки кроме применения стружколомов может быть обеспечено закономерным изменением радиальной подачей, причем в обеспечении полного прекращения радиальной подачи нет необходимости. Для дробления стружки достаточно снижения радиальной подачи до значений, равных 2–3 радиусам округления режущей кромки, или величин упрочняющих фасок.

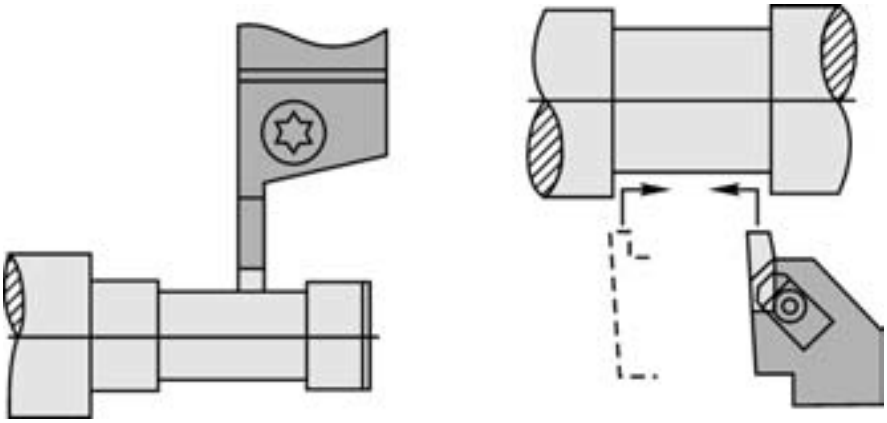


Рисунок 3 - **Чистовая обработка закрытых шеек валов специальными резцами**

Чистовая обработка замкнутых поверхностей реализуется продольной подачей тех же резцов (рис. 3) и фасонных (рис. 4). Необходимо отметить, что данный вариант обработки возможен и для валов по схеме 2*б*.

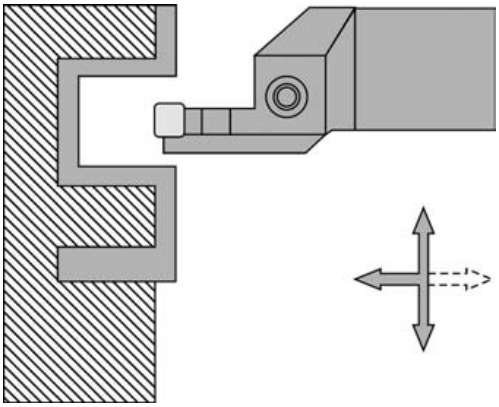


Рисунок 4 – **Вариант чистовой обработки фасонных поверхностей валов**

Снижение производительности при этом будет меньше, чем при дискретной продольной подаче. Кроме того, не будут образовываться кольцевые риски при остановке резца. Дополнительно необходимо отметить, что данная схема обработки повышает технологичность обработки торцовых канавок (рис. 5).

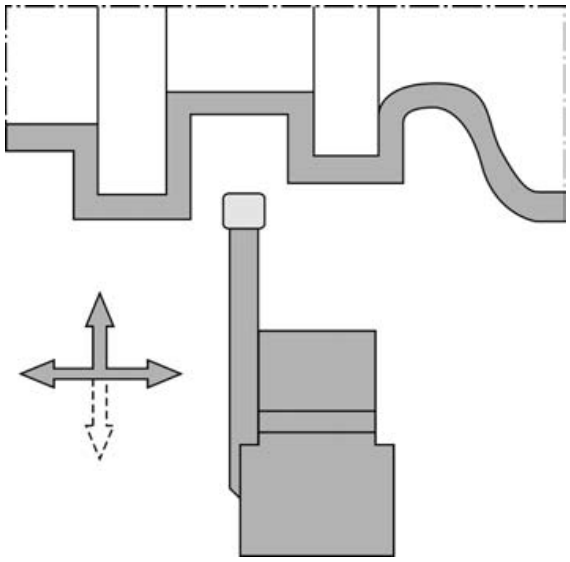


Рис. 5. **Обработка торцовых канавок по схеме чернового удаления металла методом осевого врезания и чистовой обработки по контуру**

Рассмотрим вопросы резьбонарезания на токарном станке с ЧПУ.

Формообразование наружных резьбовых поверхностей на универсальном оборудовании и программном со старыми системами управления выполняется по схеме (рис. 6).

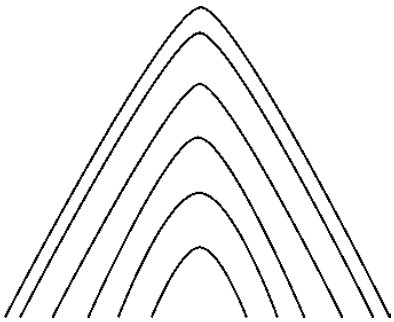


Рисунок 6 – Формообразование резьбовой поверхности при равномерной глубине врезания

Число проходов для нарезания полного профиля резьбы и соответственно последний проход выполняются, как правило, без подачи на глубину (зачистной проход) или с минимальной глубиной. При последнем проходе нагрузка наиболее велика, что снижает качество обработки. Данная схема применяется на универсальном оборудовании и на станках с ЧПУ со старыми системами управления типа НЦ31, 2Р22 и аналогичных. Если для

универсальных станков и устаревших систем управления программным оборудованием были необходимы канавки для выхода инструмента из работы, то для современных систем управления их наличие необязательно. В настоящее время все современные стойки с ЧПУ поддерживают применение следующих циклов нарезания резьбы:

1. врезание выполняется с переменной глубиной врезания, что обеспечивает равномерную нагрузку на резец и снижает необходимое число проходов и повышает производительность (рис. 7);

- последний проход выполняется с минимальной глубиной или без подачи на глубину (зачистной);

2. врезание выполняется с переменной глубиной, но одна из сторон профиля образуется по генераторной схеме (рис. 8).

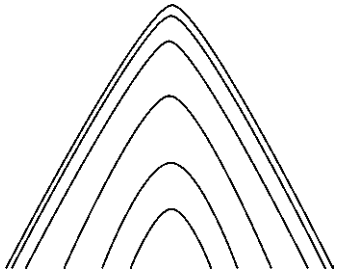


Рисунок – 7. Формообразование резьбовой поверхности при переменной глубине врезания

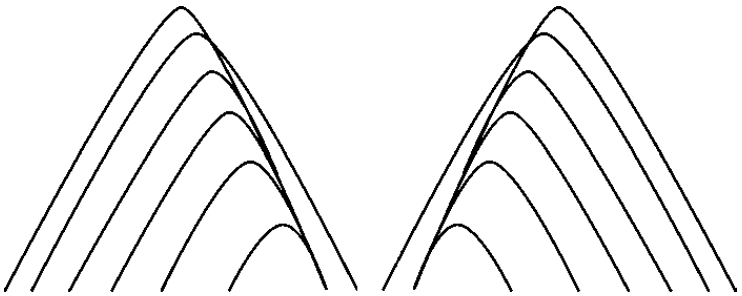
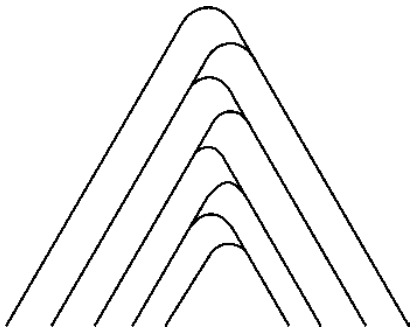


Рисунок – 8. Формообразование резьбовой поверхности при снижении подачи на глубину, но с формообразованием одной из сторон профиля по генераторной схеме

Данная схема позволяет формировать направление отвода стружки, но одна из сторон профиля резьбы в данном случае имеет низкое качество обработанной поверхности. Схема пригодна для обработки резьбы относительно низких классов точности. Лучшие показатели обеспечивает схема обработки резьбы, приведенная на рисунке 9.

Применение данной схемы формообразования резьбы позволяет наряду со снижением сил резания обеспечить обработку резьбы высоких классов точности, особенно для высокопрочных материалов и титановых сплавов.



Рисунке 9 – Схема обработки резьбы с переменной схемой обработкой смежных сторон горизонтали

Данная схема формообразования особенно эффективна при переменной глубине врезания. При средних требованиях к точности резьбы широко применяется схема формообразования, приведенная на рисунке 10.

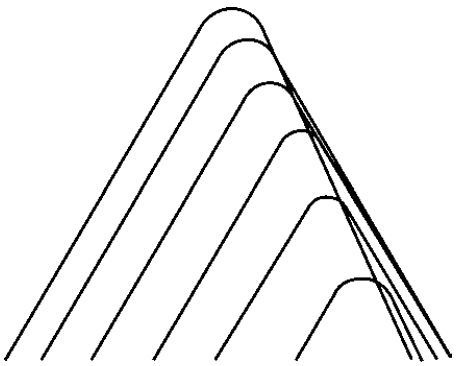


Рисунок 10 – Формообразование резьбы по генераторной схеме с врезанием с отклонением второй стороны на 1°

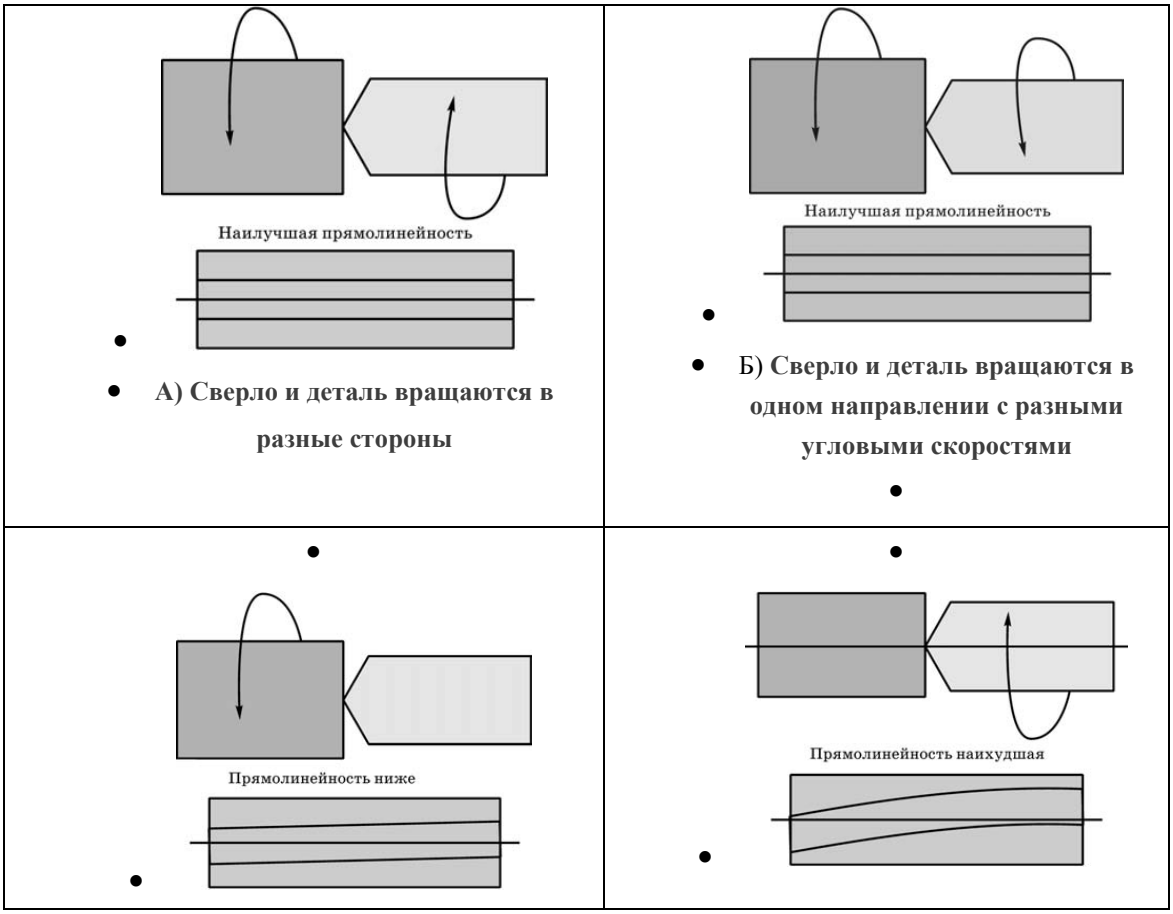
Данная схема обработки обеспечивает более высокий класс точности резьбы по сравнению с формообразованием по схемам, приведенным на рисунке 9.

4. Технологичность деталей, обрабатываемых на фрезерных станках с ЧПУ

Фрезерная обработка в последнее время набирает большую популярность, поэтому столь же востребована, как сверление деталей и токарная обработка.

Определенный интерес представляет определение технологичности формообразования отверстий на станках с ЧПУ. На станках могут быть реализованы следующие схемы обработки отверстий:

- спиральными сверлами;
- спиральными трехкромочными сверлами (в настоящий момент уже не имеет большого распространения) ;
- сборными сверлами, оснащенными МНП;
- сверлами для глубокого сверления;
- концевыми фрезами.



• **В) Деталь вращается, сверло неподвижно**	• Г) **Деталь неподвижна, сверло вращается**

Рисунок 11- Схемы обработки отверстий сверлами.

Типовая схема (рис. 11а) обработки отверстий 12–14 квалитетов точности на токарных автоматах имеет пониженную технологичность из-за необходимости применения леворежущих сверл, 12-й квалитет обеспечивают сверла класса точности А1, 14-й — инструмент нормальной точности. По данной схеме обеспечивается наиболее высокая точность формы оси отверстия, т. е. увод сверла при обработке минимален.

Шероховатость обработанной поверхности в пределах R_z = 20–80 мкм. Количество рисок на образующей цилиндра минимально. Последующая обработка осевыми инструментами (зенкерами и развертками) повышает только точность диаметральных размеров, а точность формы оси отверстия практически не исправляется. С учетом этого отверстия с относительной глубиной $L/D>10$ нетехнологичны.

Схема (рис. 11б) обработки отверстий 12–14-го квалитетов точности реализуется на токарных станках с ЧПУ с приводным инструментом. По данной схеме обеспечивается наиболее высокая точность формы оси отверстия, т. е. увод сверла так же, как и в предыдущем случае, минимален. Количество рисок на образующей цилиндра минимально. С учетом этого отверстия с относительной глубиной $L/D \geq 10$ нетехнологичны.

Схема (рис. 11в) обработки отверстий 12–14-го квалитетов точности реализуется на токарных станках с ЧПУ без приводного инструмента. По данной схеме обеспечивается больший увод сверл при обработке. Количество рисок на образующей цилиндра больше, причем они имеют значительную глубину. С учетом этого отверстия с относительной глубиной $L/D \geq 5$ нетехнологичны.

Схема (рис. 11г) обработки отверстий 12–14-го квалитетов точности реализуется на сверлильных, фрезерных и расточных станках с ЧПУ. По данной

схеме обеспечивается наибольший увод сверл при обработке. Количество рисок на образующей цилиндра больше, причем они имеют значительную глубину. С учетом этого отверстия с относительной глубиной $L/D \geq 5$ нетехнологичны.

Обработка отверстий спиральными трехкромочными сверлами обеспечивает получение лучших результатов. Типовые конструкции трехкромочных сверл приведены рисунке 12.

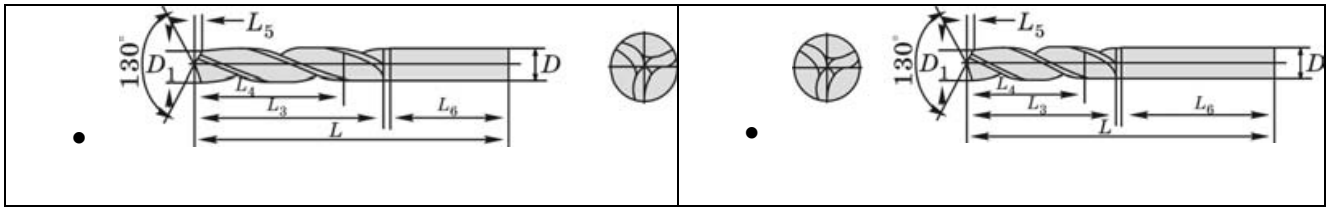


Рисунок 12 – Трехкромочные сверла
а) без каналов для подвода СОЖ
б) с каналами для подвода СОЖ

Сверла данной конструкции предназначены для обработки отверстий от 3 мм глубиной 6–7D по 9–11-м квалитетам точности. Точность формы оси отверстия значительно выше, чем спиральных сверл, она также зависит от схем обработки. Стойкость сверл превышает стойкость типовых конструкций инструмента. Так, при обработке титанового сплава ВТ20 было обработано 1200 отверстий диаметром 8 мм, что более чем в 8–10 раз больше, чем для обычных сверл с напайными пластинками твердого сплава при повышении производительности на 30–40%.

Применение трехкромочных сверл повышает технологичность формообразования точных отверстий и даже сокращает необходимое количество инструмента при обработке по 7-му квалитету точности (трехкромочное сверло + развертка). По стандартному циклу — сверло, зенкер или растачивание, черновое развертывание, чистовое развертывание. Примечание: для закаленных сталей однократное развертывание.

Сборные сверла, оснащенные МНП, очень перспективны для применения на станках с ЧПУ при достаточной мощности привода главного

движения (приводного инструмента). Конструкции сверл с МНП приведены на рисунках 13 и 14.

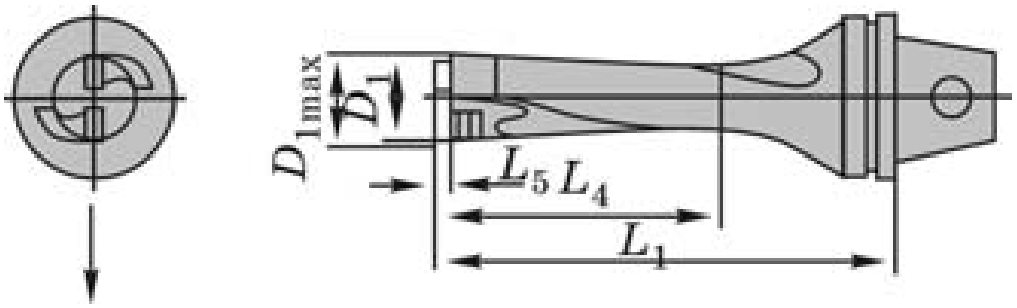


Рисунок 13 – Типовая конструкция сверла с МНП

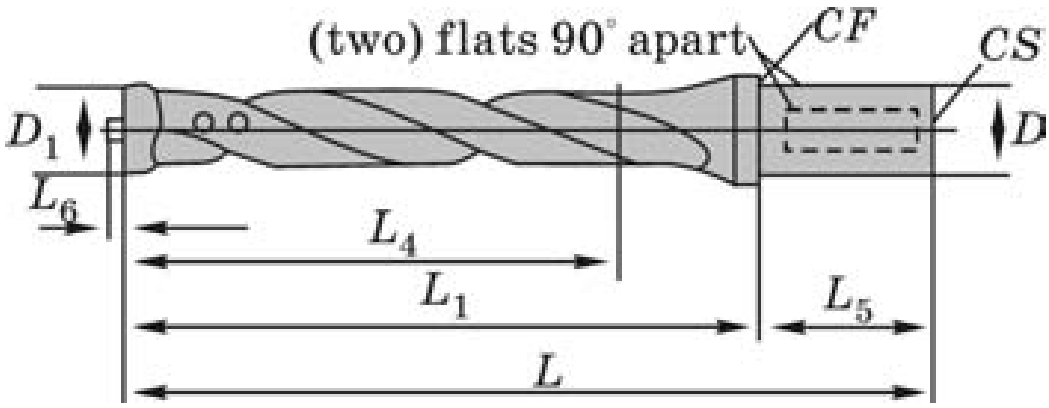


Рисунок 14 - Конструкция сверла с МНП с направляющим перетачиваемым механически закрепляемым сверлом (со сменными режущими головками)

Сверла данных конструкций можно применять для обработки отверстий глубиной от 2,5 до 8*D* в сплошном материале (рис. 15). Диаметр сверл от 12 мм, точность обработки, как правило, ±0,2/0,1. При глубине сверления до 2,5–3*D* инструмент может применяться с наружным подводом СОЖ, при большей глубине — только с внутренним.

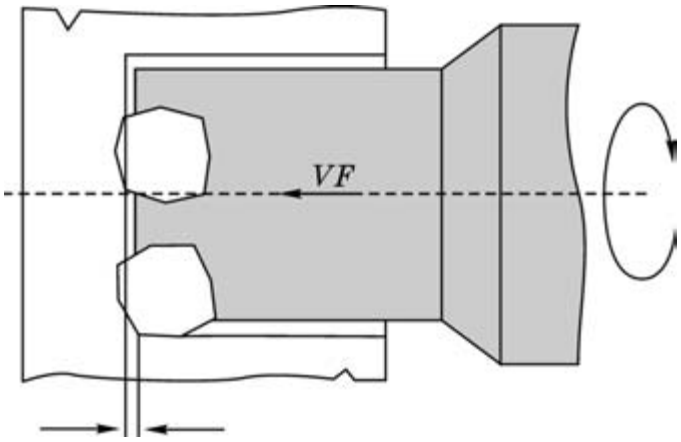


Рисунок 15 – Схема сверления отверстия в сплошном материале (диаметр отверстия равен диаметру инструмента)

Инструмент можно применять на токарных, фрезерных и расточных станках. Высокая жесткость корпусов обеспечивает прямолинейность оси отверстия. При жестких требованиях к точности формы в продольном направлении предпочтение следует отдавать инструменту с направляющей режущей частью.

Сверлами с МНП без направляющей части возможна обработка отверстий в сплошном материале диаметром несколько больше диаметра инструмента. Схема обработки приведена на рисунке 14. Данную схему можно реализовать на станках токарной группы. Дополнительно необходимо отметить, что инструмент данного типа позволяет из разряда нетехнологичных обрабатываемых поверхностей перевести в технологичные конструктивные элементы, по крайней мере, для диаметров более 12 мм.

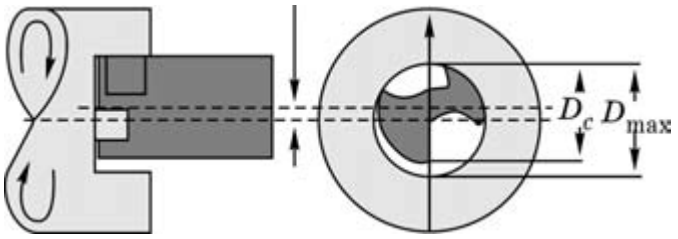


Рис. 15. Схема сверления отверстия в сплошном материале (диаметр отверстия больше диаметра инструмента)

Сверла с МНП позволяют выполнять сверление отверстий на любом типе оборудования на поверхностях имеющих наклон, вогнутость, выпуклость по отношению к оси сверла и другие погрешности формы как на входе, так и выходе инструмента из отверстия (рис. 16).

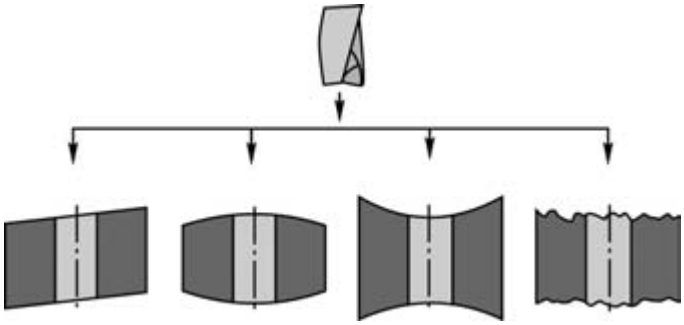
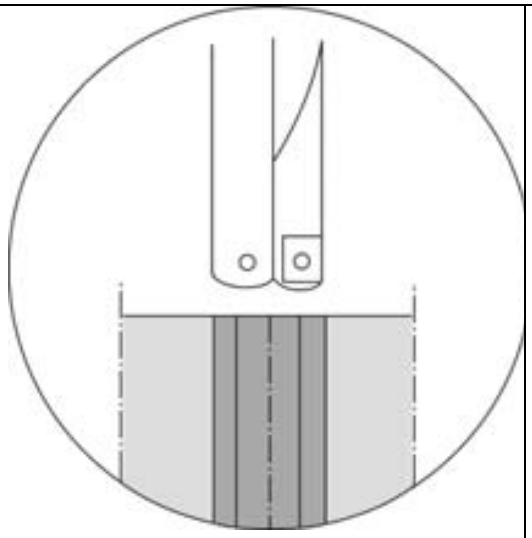


Рисунок 16 – Погрешности формы на входе и выходе конструктивных элементов деталей, не препятствующие сверлению

Дополнительно необходимо отметить, что сборные конструкции сверл дополнительно позволяют производить следующие виды работ.

1. Рассверливать отверстия (рис. 17а). Припуск при рассверливании не зависит от соотношения диаметров обрабатываемого и предварительного отверстий.
2. Растачивать гладкие и ступенчатые отверстия (рис. 17б).
3. Выполнять сверление отверстий с пересекающимися осями (рис. 17в).
4. Выполнять обработку контура деталей путем высверливания полных и неполных отверстий (рис. 17г).



Б) Растачивание отверстия сверлом с

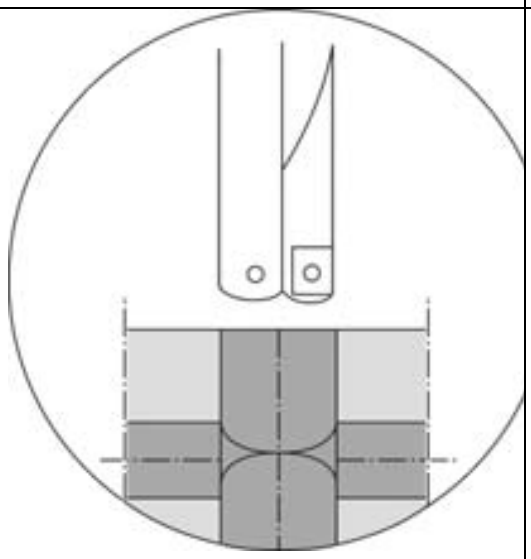
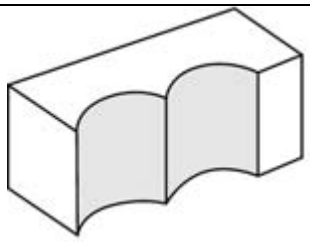
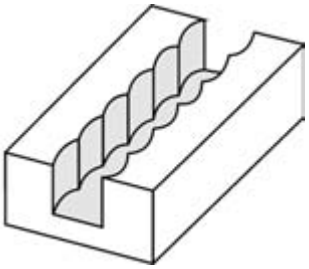
• А) Рассверливание отверстий •	МНП
•  • В) Сверление отверстий в деталях с пересекающимися осями •	•  •  • Г) Обработка контура деталей путем высверливания отверстий

Рисунок 17 – Виды работ, выполняемые сверлом МНП

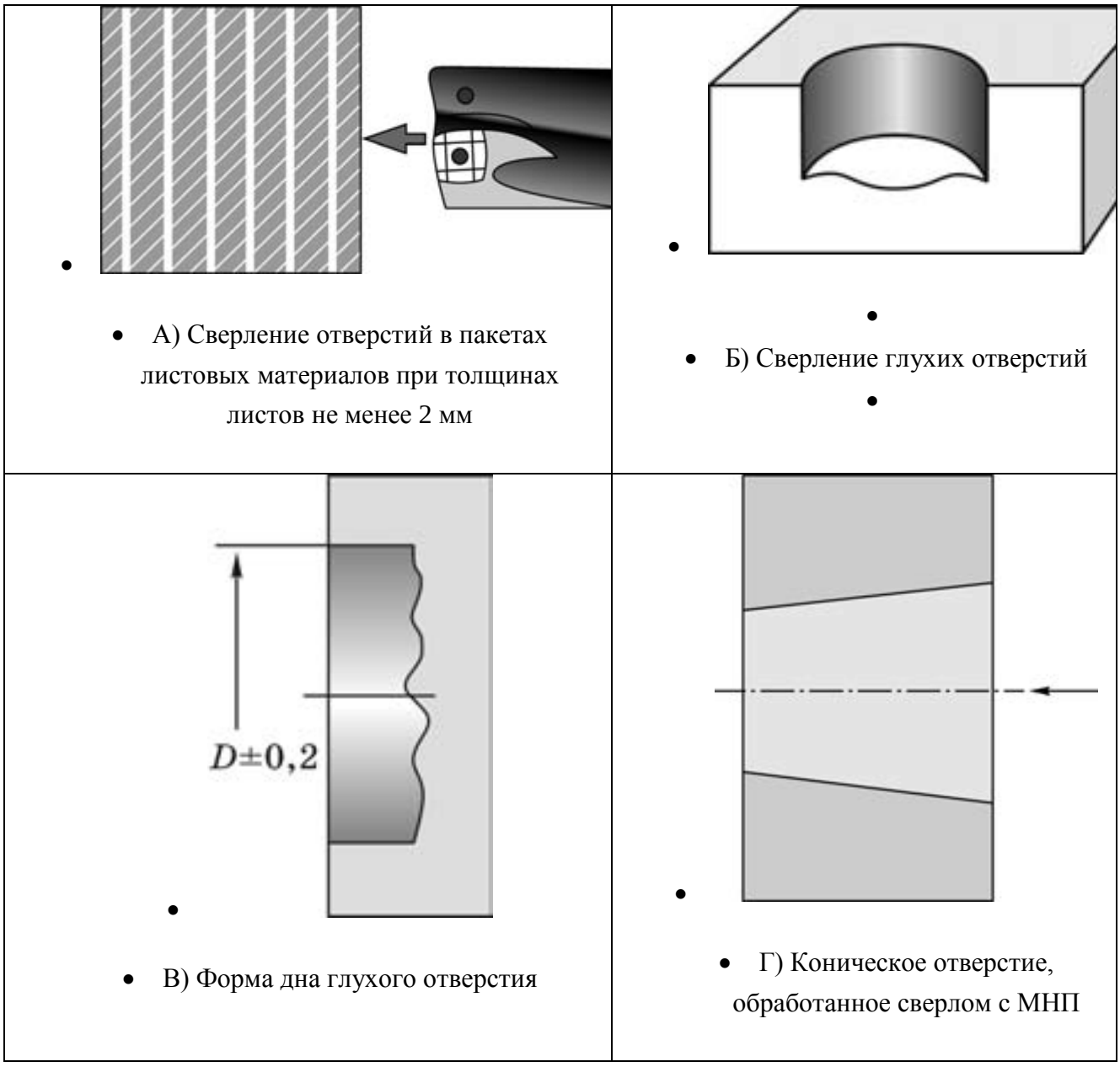
5. Производить сверление отверстий в пакетах листовых материалов при толщинах листов не менее 2мм (рис. 18а). Размер 2мм определяется особенностями геометрии сверла с МНП в плане.

6. Производить сверление глухих отверстий (рис. 18б).

Форма дна отверстия должна быть оговорена в конструкторской документации, или, по крайней мере, в технических условиях (рис. 18в).

7. Возможна обработка периферийной режущей кромкой после сверления конических отверстий (рис. 18г).

Для формообразования конических отверстий на станках с ЧПУ применение конических разверток (зенкеров) не рекомендуется из-за их низкой производительности, так как инструмент изготовлен из быстрорежущих сталей.



А) Сверление отверстий в пакетах листовых материалов при толщинах листов не менее 2 мм

Б) Сверление глухих отверстий

В) Форма дна глухого отверстия

Г) Коническое отверстие, обработанное сверлом с МНП

Рисунок 18 – Виды работ, выполняемые сверлом МНП

Следует отметить, что сверлами с МНП возможна обработка отверстий сложной конфигурации как периферийной режущей кромкой по программе, так и специальным инструментом (рис. 19).

Применение одного инструмента для формообразования отверстий различной конфигурации позволяет уменьшить количество позиций револьверной головки, а при больших объемах производства возможно применение комбинированных сверл, что обеспечит повышение

производительности. Конструкции комбинированных сверл приведены на рисунке 20.

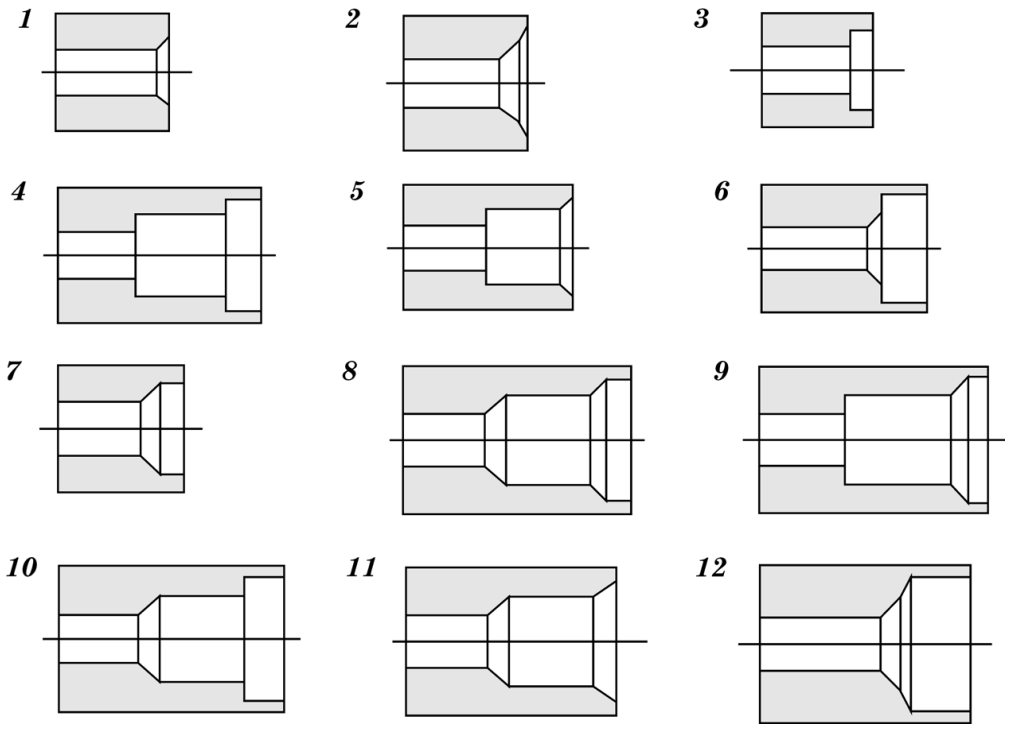


Рисунок 19 – Форма отверстий, обработка которых возможна периферийной режущей кромкой

Рисунок 20 – Комбинированные сверла с МНП

С учетом вышеприведенного материала можно производить обработку практически любого отверстия на многоцелевых станках, обеспечив при этом высокую их технологичность.

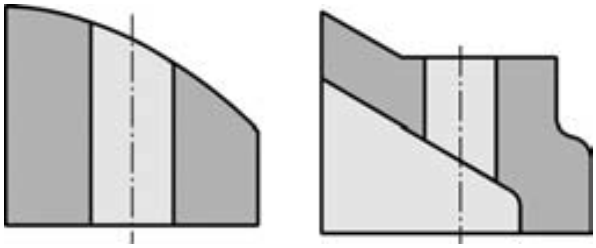


Рисунок 21 - Отверстия технологичны только для сборных сверл с МНП и концевых фрез с осевым врезанием

Так, например отверстия, приведенные на рисунке 21, будут технологичны:

- более 12 мм при допуске на диаметральные размеры ±0,2 мм и шероховатости R_a = 2,5 мкм при их формообразовании сверлом с МНП на глубину до 3–8$D_{св}$; глубина сверления зависит от конструкции инструмента;
- при диаметре более 3 мм при допуске ±0,1 мм и шероховатости R_a до 1,25 мкм при сверлении фрезой с осевым врезанием при высоте образующей до 1,5D;
- при формообразовании отверстий концевыми фрезами по любой схеме. Для спиральных сверл, зенкеров и разверток приведенные конструктивные элементы нетехнологичны.

Для данных инструментов технологичными будут конструктивные элементы деталей, приведенные на рисунке 22. Естественно, что и для обработки данных конструктивных элементов деталей может быть применен инструмент, указанный выше.

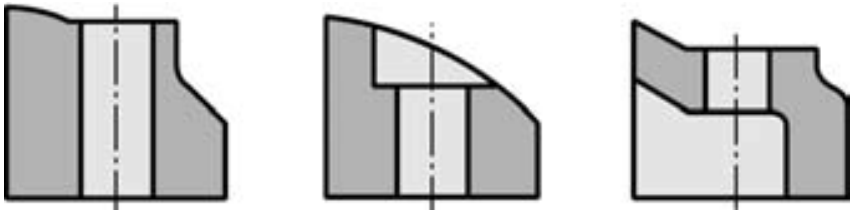


Рисунок 22 – Отверстия технологичные для обработки сверлами, зенкерами и развертками

Представляет интерес анализ технологичности формообразования отверстий, приведенных на рисунке 23.

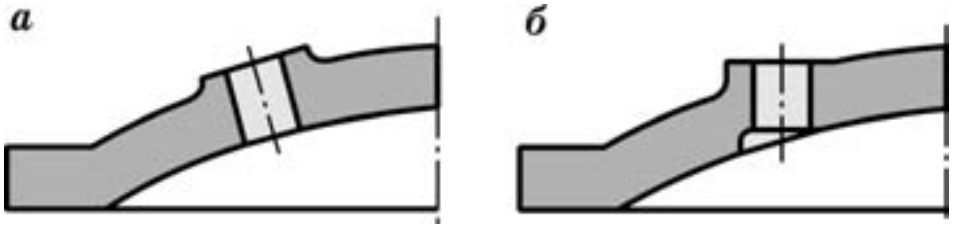


Рисунок 23 – Схемы расположения отверстий для анализа технологичности

Расположение отверстий в соответствии с рисунком 23*а* отвечает требованиям технологичности обработки на пятикоординатных станках с наклонно-поворотным столом или трехкоординатных с накладным поворотным столом. Для пятикоординатного станка с двухповоротной фрезерной головкой данное исполнение нетехнологично. Если станок имеет дополнительную программно-управляемую ось, а именно выдвижение пиноли шпинделя, то рассматриваемое конструктивное исполнение будет технологичным.

Для типовых компоновок станков с универсальной фрезерной головкой исполнения в соответствии с рисунком 23*б* технологичным можно признать, если площадка на выходе инструмента будет получена в заготовке. Если площадка на выходе инструмента отсутствует, то стойкость сверл будет низкой и будут часты поломки инструмента при выходе их работы. Дополнительно необходимо учесть, что площадку в дальнейшем придется выполнять цековкой с передним направлением ручным механизированным инструментом (РМИ) с ограничением осевого перемещения специальной насадкой или на станках сверлильной группы с использованием специальных приспособлений. При диаметре более 12 мм технологичность может быть обеспечена применением сборных сверл с МНП, или для небольших высот образующих концевых фрез с осевым врезанием ($D_{фр} \geq 3$ мм, $L \leq 1{,}5D_{фр}$).

Технологические показатели, достигаемые при обработке отверстий для различных сочетаниях инструмента, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технологические показатели, достигаемые при обработке отверстий для различных сочетаниях инструмента для различных материалов

№ п/п	Применяемый инструмент или их сочетание	Обрабатываемые материалы	Экономический квалитет точности	Шероховатость обработанной поверхности	Глубина обработки L/D до
1	Сверло нормальной точности	Легированные стали	H14	$R_z$max = 80 мкм	10
		Титановые сплавы		$R_z$max = 20 мкм	
		Высокопрочные нержавеющие стали типа		$R_z$max = 20 мкм	
		Алюминиевые сплавы*		$R_z$max = 20 мкм	
2	Сверло класса точности А1	Легированные стали	H12	$R_z$max = 40 мкм	10
		Титановые сплавы		$R_z$max = 20 мкм	
2	Сверло класса точности А1	Высокопрочные нержавеющие стали типа	H12	*R*zmax = 20 мкм	10
		Алюминиевые сплавы*		*R*zmax = 20 мкм	
3	Трехкромочные сверла	Легированные стали	H9-H11	*Ra* = 2,5 мкм	7-8
		Титановые сплавы		*Ra* = 1,25 мкм	
		Высокопрочные нержавеющие стали типа		*Ra* = 1,6 мкм	
		Алюминиевые сплавы*		*Ra* = 1,25 мкм	
4	Сборные сверла с МНП	Легированные стали	±0,2/0,1	*Ra* = 2,5 мкм	3-8
		Титановые сплавы		*Ra* = 1,6 мкм	
		Высокопрочные нержавеющие стали типа		*Ra* = 1,6 мкм	
		Алюминиевые сплавы*		*Ra* = 1,25 мкм	
5	Фрезы с осевым врезанием	Легированные стали	±0,1	*Ra* = 2,5 мкм	1,5
		Титановые сплавы		*Ra* = 1,6 мкм	
		Высокопрочные нержавеющие стали типа		*Ra* = 1,6 мкм	
		Алюминиевые сплавы*		*Ra* = 1,25 мкм	
6	Фрезерование с врезанием по спирали	Легированные стали	$Л_a$ = = 3,3 Л2 + Л2 *x y*	*Ra* = = 1,25-2,5 мкм	5
		Титановые сплавы		*Ra* = = 0,8-1,25 мкм	
		Высокопрочные нержавеющие стали типа		*Ra* = = 1,25-1,6 мкм	
		Алюминиевые сплавы*		*Ra* = = 0,8-1,25 мкм	
7	Сверление, зенкерование, двукратное развертывание	Легированные стали	H7-H9	*Ra* = 1,25 мкм	10
		Титановые сплавы		*Ra* = 1,25 мкм	
		Высокопрочные нержавеющие стали		*Ra* = 1,25 мкм	
		Алюминиевые сплавы*		*Ra* = 1,25 мкм	
8	Глубокое сверление	Легированные стали	H6-H9	*Ra* = 0,63 мкм	50
		Титановые сплавы		*Ra* = 0,40 мкм	
8	Глубокое сверление	Высокопрочные нержавеющие стали типа	H6-H9	R_a = 0,40 мкм	50
		Алюминиевые сплавы*		R_a = 0,20 мкм	
9	Сверление +	Легированные стали	H6-H9	R_a = 0,63 мкм	10

№ п/п	Применяемый инструмент или их сочетание	Обрабатываемые материалы	Экономический квалитет точности	Шероховатость обработанной поверхности	Глубина обработки L/D до
	крутоспиральная развертка	Титановые сплавы		R_a = 0,40 мкм	
		Высокопрочные нержавеющие стали типа		R_a = 0,40 мкм	
		Алюминиевые сплавы*		R_a = 0,20 мкм	
10	Сверление трехкромочным сверлом + крутоспиральная развертка	Легированные стали	H6-H8	R_a = 0,63 мкм	7-8
		Титановые сплавы		R_a = 0,40 мкм	
		Высокопрочные нержавеющие стали типа		R_a = 0,40 мкм	
		Алюминиевые сплавы*		R_a = 0,20 мкм	
11	Развертывание однокромочной разверткой после термической обработки	Легированные стали	H6-H9	R_a = 1,6 мкм	До 50
		Высокопрочные нержавеющие стали типа		R_a = 1,25 мкм	
12	Зенкерование + развертывание после термической обработки	Легированные стали	H7-H9	R_a = 1,6 мкм	До 10
		Высокопрочные нержавеющие стали типа		R_a = 1,25 мкм	
13	Фрезерование с врезанием по спирали + развертывание	Легированные стали	H7-H9	R_a = 1,25 мкм	5
		Титановые сплавы		R_a = 0,8 мкм	
		Высокопрочные нержавеющие стали типа		R_a = 1,25 мкм	
		Алюминиевые сплавы*		R_a = 0,63 мкм	
14	Фрезерование с врезанием по спирали + крутоспиральная развертка	Легированные стали	H6-H9	R_a = 0,63 мкм	5
		Титановые сплавы		R_a = 0,40 мкм	
		Высокопрочные нержавеющие стали типа		R_a = 0,40 мкм	
		Алюминиевые сплавы*		R_a = 0,20 мкм	
15	Сверло с МНП + растачивание периферийной режущей кромкой	Легированные стали	±0,05 без ерительной системы и H6 с измерительной истемой	R_a = 1,25 мкм	3-8
		Титановые сплавы		R_a = 0,8 мкм	
16	Сверло с МНП + растачивание периферийной режущей кромкой	Высокопрочные нержавеющие стали типа	±0,05 без ерительной системы и H6 с измерительной истемой	R_a = 1,25 мкм	3-S
		Алюминиевые сплавы*		R_a = 0,S мкм	

Примечания. Показатели приведены для современных станков с ЧПУ с мотор-шпинделями, при закреплении инструмента в термопатронах.

Рассмотрим вопросы использования фрез и фрезерной обработки на обрабатывающих центрах.

Несколько сложнее выполнять оценку технологичности для поверхностей, формируемых фрезерованием. В общем случае глубина обрабатываемых карманов не должна превышать $2{,}5D_{фр}$ (рис. 24).

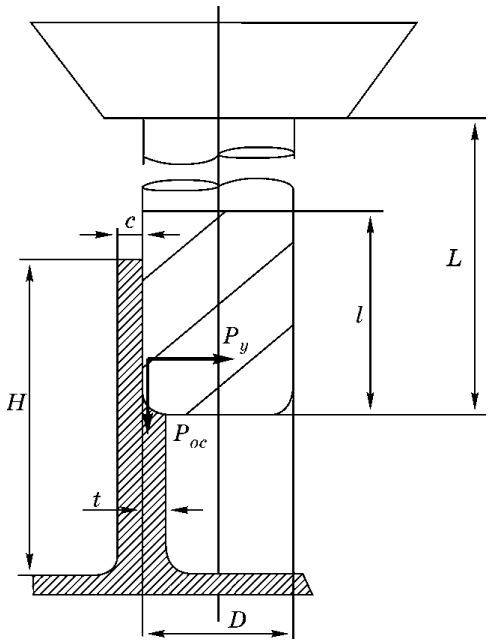


Рисунок 24 – Предельная глубина карманов для типовых схем обработки

Если необходимо обработать карман большей глубины, то рекомендуется выполнять обработку по методу деления ширины фрезерования. Применение фрез с длиной рабочей части, равной глубине кармана H \+15…20, не рекомендуется, так как в работе из-за упругих деформаций как самой фрезы, так и обрабатываемого ребра в работе будет принимать участие вся рабочая часть фрезы, это приведет к снижению точности обработки и потери виброустойчивости. Для исключения этого целесообразно выполнять обработку карманов большой глубины и с тонкими ребрами специальными фрезами, длина рабочей части которых равна $H/2$+10…25, а хвостовик на участке между его рабочей частью и режущей частью фрезы занижен на 0,5 мм (рис. 24, 25).

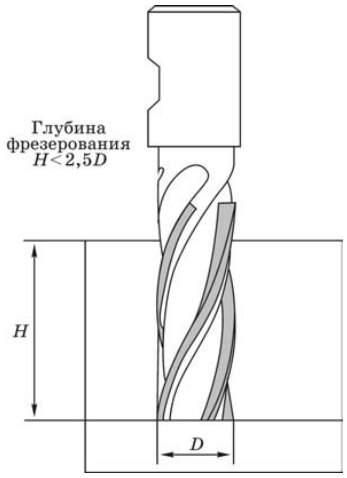


Рисунок 24 – Фрезерование глубоких карманов по методу деления ширины фрезерования, первый проход:

H — высота обрабатываемой стенки, мм;
l — длина рабочей части фрезы, мм;
D — диаметр фрезы, мм;
L — вылет фрезы из оправки, мм;
c — толщина обрабатываемой стенки, мм.

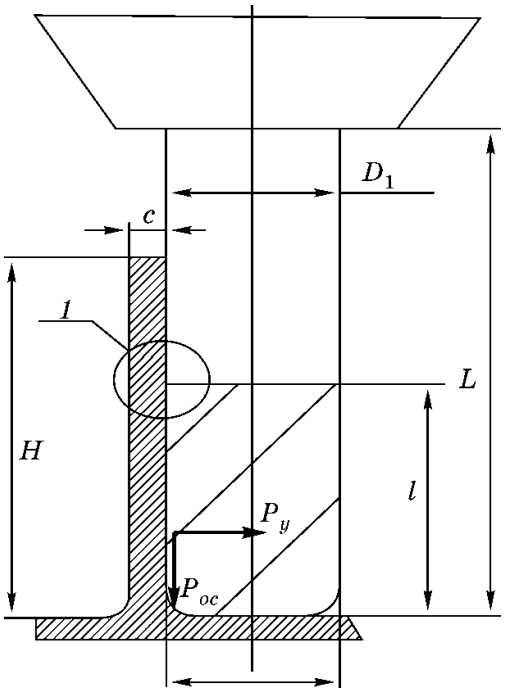


Рисунок 25 – Фрезерование глубоких карманов по методу деления ширины фрезерования, второй проход:

H — высота обрабатываемой стенки, мм;
l — длина рабочей части фрезы, мм;
D — диаметр фрезы, мм;
D1 — диаметр шейки фрезы, мм;
L — вылет фрезы из оправки, мм;

с — толщина обрабатываемой стенки, мм.

Для исключения образования ориентированной риски в одном направлении (см. участок *1*) эквидистанты движения фрезы первого и второго проходов должны быть смещены относительно друг друга.

Последовательность удаления припуска с ребра при фрезеровании по методу деления ширины фрезерования приведена на рисунке 26.

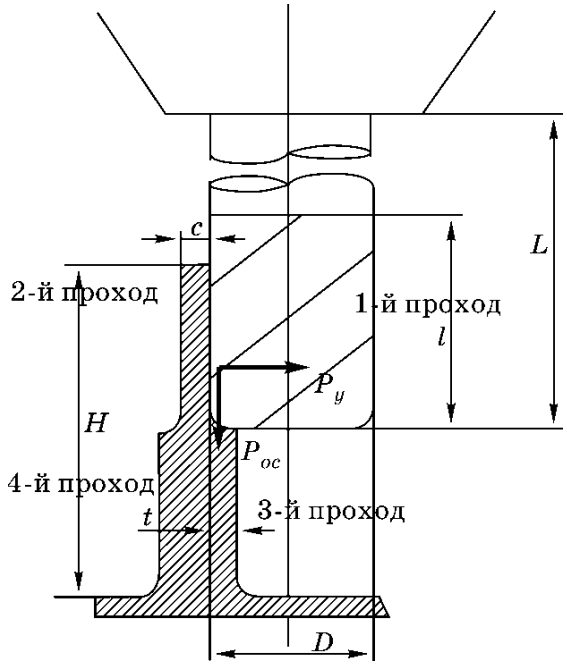


Рисунок 26 – Последовательность обработки ребра по методу деления ширины фрезерования с двух сторон

Для монолитных конструкций концевых фрез из твердого сплава упругие деформации будут значительно меньше. Из анализа зависимостей упругих деформаций концевых фрез различных конструкций следует, что применение монолитных концевых фрез из твердого сплава позволяет:

- повысить технологическую надежность инструмента вследствие исключения замка и паяного соединения рабочей и хвостовой частей;
- снизить упругие деформации концевых фрез, т. е. повысить точность обработки на станках с ЧПУ;
- при необходимости увеличить допускаемый вылет инструмента из оправки, например при фрезеровании по методу деления ширины фрезерования или при необходимости обработки с большим вылетом инструмента.

Применение стандартных фрез сокращает затраты на технологическую подготовку производства, но при этом снижается производительность формообразования. С учетом значительной стоимости пятикоординатных станков необходимо учитывать увеличение технологической себестоимости деталей. С другой стороны, при сопряжении поверхностей формируется острая кромка постоянного направления.

Технологичность сопряжения стенок определяется так же, как и для универсального оборудования (рис. 27).

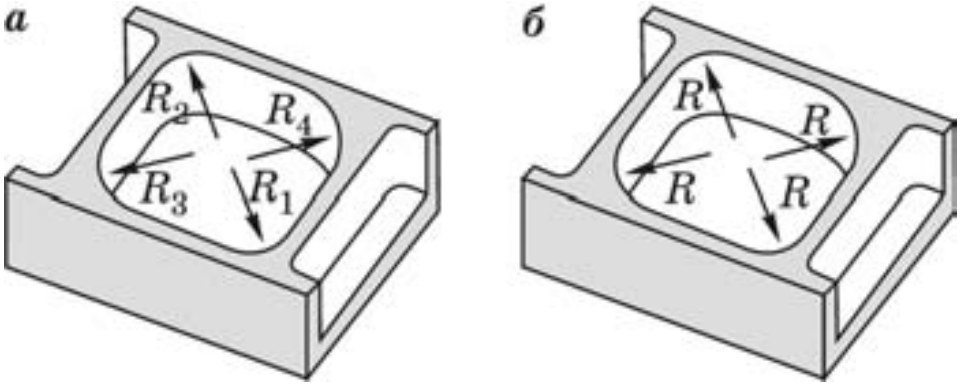


Рисунок 27 – К определению технологичности сопряжения стенок

Если конструктивные элементы детали, приведенные на рисунке 56*а*, нетехнологичны для универсального оборудования (технологично исполнение — рис. 56*б*), то для программного оборудования технологичность будет определяться минимальной величиной радиуса, который можно обработать по методу обката, т. е. $R_{\text{дет. min}} - R_{\text{фр}}$ и высотой стенки.

Предельно допустимую высоту стенок определяют по эмпирическим зависимостям в зависимости

- от обрабатываемых материалов:

$$H \le 4-5R_{\text{дет. min}};$$

- для деталей из алюминиевых сплавов и для труднообрабатываемых материалов:

$$H \le 2-2{,}5R_{\text{дет. min}},$$

где H — высота стенки или глубина кармана.

При обработке по методу деления ширины фрезерования допустимая глубина карманов (высота стенок) возрастает. На практике для определения радиуса сопряжения стенок принято считать, что если выдерживаются соотношения, то детали технологичны:

$$R_{\text{дет}} = R_{\text{фр}} + 1$$

или по данным

$$R_{\text{фр}} = 0{,}95R_{\text{дет}}.$$

Экспериментальные работы показали, что качество обработанной поверхности несколько улучшается. Но при этом не учитывается, что кинематическое изменение глубины фрезерования, несмотря на снижение рабочей подачи в углах карманов (программируемое торможение), приводит:

- к снижению производительности из-за программирования участков торможения и разгона; чем больше на детали угловых сопряжений, тем значительнее рост трудоемкости;
- к затягиванию фрезы в тело заготовки вследствие изменения направления силы фрезерования;
- к возможности разрушения инструмента из-за значительного роста сил фрезерования даже при небольшом припуске на обработку;
- к необходимости введения участков предыскажений по результатам обработки опытных деталей;
- к увеличению затрат времени на разработку управляющих программ, следовательно, всю подготовку производства.

Увеличение кинематической глубины фрезерования вызывает:

- ограничение числа зубьев фрез из-за опасности пакетирования стружки в стружечных канавках;

- значительное увеличение силы фрезерования и изменение ее направления, в результате чего происходит или разрушение инструмента, или затягивание его в тело детали.

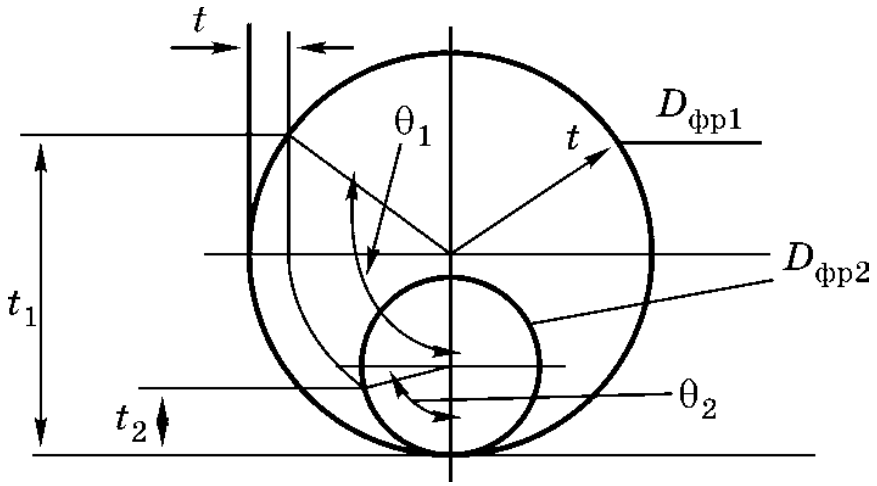


Рисунок 28 – Схема для определения кинематической глубины фрезерования:

t — глубина фрезерования для чистового прохода, мм;
t_1 — кинематическая глубина фрезерования для фрезы диаметром Dфр1, мм;
t_2 — кинематическая глубина фрезерования для фрезы диаметром $D_{фр2}$, мм;
0_1 — угол контакта фрезы с заготовкой для фрезы диаметром $D_{фр1}$;
0_2 — угол контакта фрезы с заготовкой для фрезы диаметром $D_{фр2}$.

Для предотвращения разрушения фрез на практике применяют снижение подачи при подходе фрезы к угловому сопряжению. При этом возможно достижение толщин среза сопоставимых или даже меньших, чем радиус округления режущих кромок, что приводит к прекращению процесса резания и его замене пластическим деформированием и, как следствие, разрушению инструмента.

Вышеназванные причины приводят в конечном итоге не только к значительной потере производительности по машинному времени, но и к снижению качества деталей.

Экспериментальные работы показали, что:

- участки торможения при обработке радиусов могут быть исключены при отношении радиусов стенок и фрез, равном 0,8 для углов сопряжения 90° и 0,6 для 60°;

- нет ограничения числа зубьев по кинематической глубине фрезерования, это обеспечивает увеличение минутной подачи;
- шероховатость обработанной поверхности по стенкам, радиусам сопряжения и полотну при фрезеровании алюминиевых сплавов на современных станках обеспечивается не хуже R_a = 0,63 мкм;
- ранее рекомендуемые для оценки технологичности соотношения радиусов 0,9–0,95 не обеспечивают исключения участков торможения при программировании.

Естественным ограничением данного подхода являются диаметры фрез и допускаемая высота стенок при их обработке за один проход. Ограничение диаметра фрез связано с тем, что при проектировании конструктор стремится минимизировать количество радиусов сопряжения и применять их минимально допускаемые значения для обеспечения лучшей весовой отдачи. Рекомендуемые диаметры фрез для обработки сопряжений стенок колодцев приведены в таблицах 2 и 3 (указан стандартный ряд диаметров фрез).

Допустимые высоты стенок карманов приведены в таблицах 4 и 5. При необходимости обработки более глубоких карманов можно применять обработку с делением по ширине фрезерования кратным 3 и более, естественно с применением виброгасящих патронов или переходников.

Таблица 2. Рекомендуемый диаметр фрезы для обработки радиусных сопряжений под углом 90°

Радиус сопряжения, мм	5	6	8	10	16	20	25	30	35	40	50
Диаметр фрез не более, мм	8	10	12	16	24	32	40	45	50	63	80

Таблица 3. Рекомендуемый диаметр фрезы для обработки радиусных сопряжений под углом 60°

Радиус сопряжения, мм	5	6	8	10	16	20	25	30	35	40	50
Диаметр фрез не более, мм	6	8	10	12	18	24	30	36	40	50	60

Таблица 4. Допустимая высота стенки кармана

Радиус сопряжения, мм	5	6	8	10	16	20	25	30	35	40	50
Высота стенки для алюминиевых сплавов, мм	20-25	24-30	32-40	40-50	64-80	80-100	100-125	120-150	140-175	160-200	200-250
Высота стенки для высокопрочных материалов, мм	10-12,5	12-15	16-20	20-25	32-40	40-50	50-75	60-90	70-105	80-120	100-150

Таблица 5. Допустимая высота стенки кармана при фрезеровании по методу деления ширины фрезерования

Радиус сопряжения, мм	5	6	8	10	16	20	25	30	35	40	50
Высота стенки для алюминиевых сплавов, мм	20-22	24-26	32-34	40-43	64-69	80-86	100-108	120-129	140-151	160-172	200-215
Высота стенки для высокопрочных материалов, мм	18-20	21-24	28-32	35-40	56-64	70-80	88-100	105-120	123-140	140-160	175-200

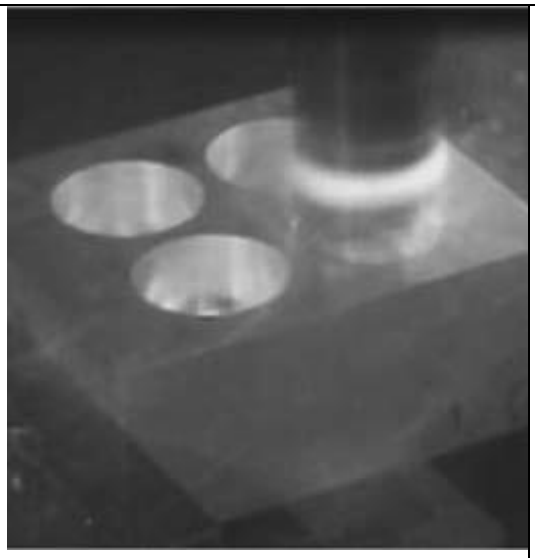
Черновая обработка карманов особенностей не имеет и выполняется по типовым схемам, а именно:

- засверловка по центру карманов фрезой или сверлом с МНП (рис. 29а);
- черновая обработка наклонным врезанием или винтовой интерполяцией от центра кармана (рис. 29б, 29в).

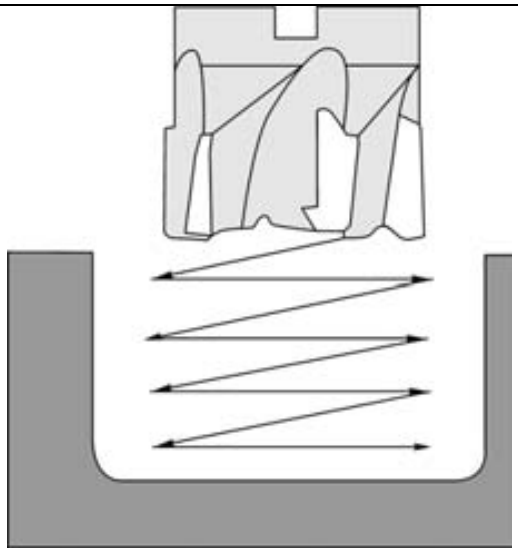
Возможно применение других схем предварительной обработки карманов. После предварительной обработки выполняется фрезерование радиусов методом осевого врезания, причем радиусы могут быть обработаны

окончательно или с припуском для чистового фрезерования не более 0,5–1 мм (рис. 29г).

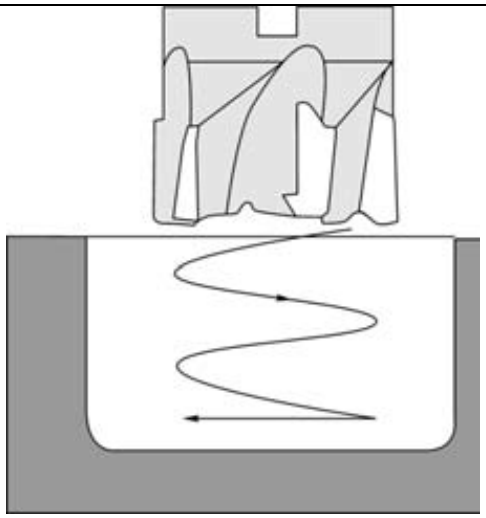
Рекомендуемая схема черновой и чистовой обработки полотна и стенок карманов приведена на рисунке 34.



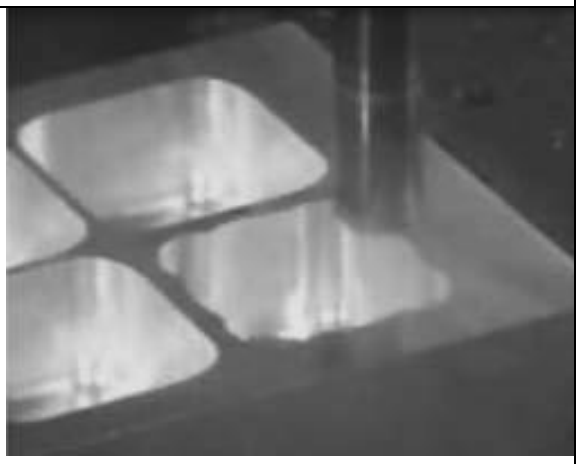
А) Засверловка карманов фрезой



Б) Предварительная обработка кармана наклонным врезанием



В) Предварительная обработка кармана винтовой интерполяцией



Г) Обработка сопряжений стенок методом осевого врезания

Рисунок 29 – схема черновой и чистовой обработки полотна и стенок

Для деталей из высокопрочных алюминиевых сплавов перепад толщин полотна не должен превышать 0,3 мм.

Остальные требования к технологичности практически совпадают с типовыми деталями для трехкоординатных станков. С учетом этого их рассматривать в данном разделе нет необходимости.

Варианты обработки плоскостей разъема лючков приведены на рисунке 30.

Рисунок 30 – Детали типа крышек лючков

Точные поверхности в том и ином случае нетехнологичны. Целесообразно крышку лючка изготавливать по вариантам 30*а*, 30*б* без точных поверхностей с применением гермотиснения, если необходима точная поверхность, то более технологичен вариант 30*б*.

Обработка неглубоких пазов приведена на рисунке 31.

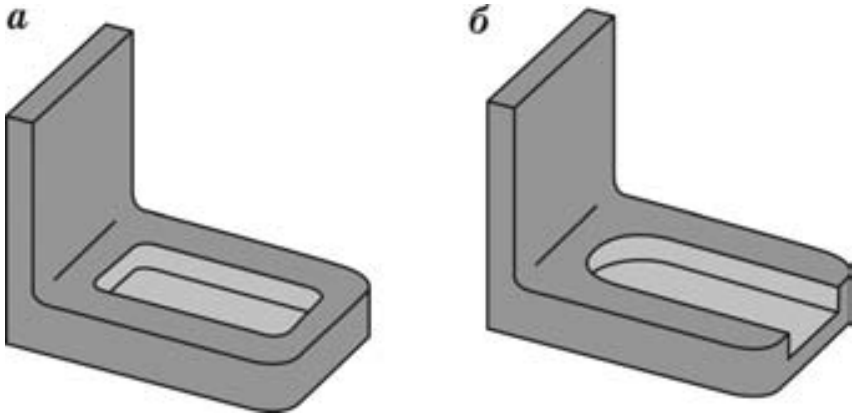


Рисунок 31 – Детали типа угольников

Для деталей из алюминиевых сплавов приоритет по технологичности следует отдать варианту 31*а*. В данном случае обработка боковых стенок выполняется по схеме попутного фрезерования, если фрезерование выполнять по схеме 31*б*, затраты времени на обработку будут значительно ниже, но разные схемы фрезерования диаметрально расположенных боковых сторон приведут к тому, что высота микронеровностей будет отличаться более чем на порядок вследствие налипания стружки. Маятниковое фрезерование пазов, легкореализуемое на станках с ЧПУ, не обеспечивает необходимое качество боковых сторон пазов. Дополнительно необходимо учесть, что обработка высокопрочных алюминиевых сплавов по схеме встречного фрезерования запрещена.

Рекомендуемые схемы обработки проушин приведены на рисунке 32. С технологической точки зрения вопрос о технологичности не равнозначен: если паз классный, то технологичен вариант 32*а*, если требования к точности паза не предъявляются, то возможно исполнение 32*б*. Для исполнения 32*б* можно применить дисковую фрезу несколько меньшего диаметра, но точность паза будет низкой, так как формообразование паза будет выполнено только участком врезания фрезы.

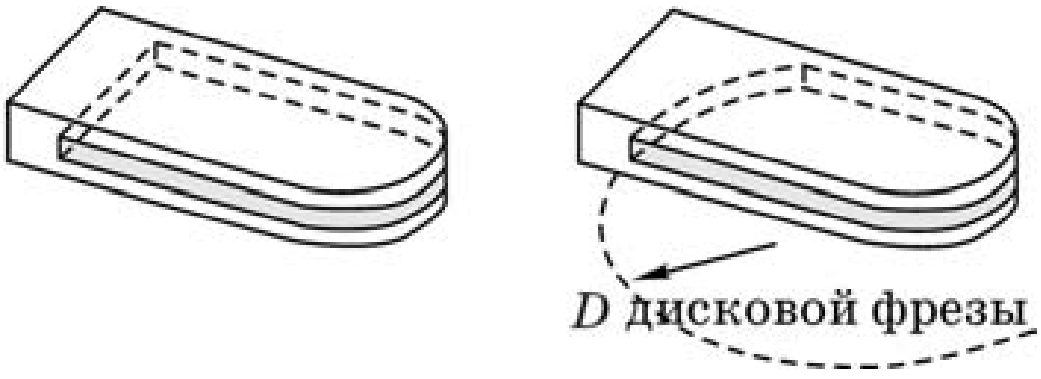


Рисунок 32 - Детали, имеющие проушины

Для варианта 32*б* требования к точности ширины паза могут быть повышены за счет аппроксимации радиусного дна прямыми линиями и подаче инструмента параллельно дну паза (рис. 33).

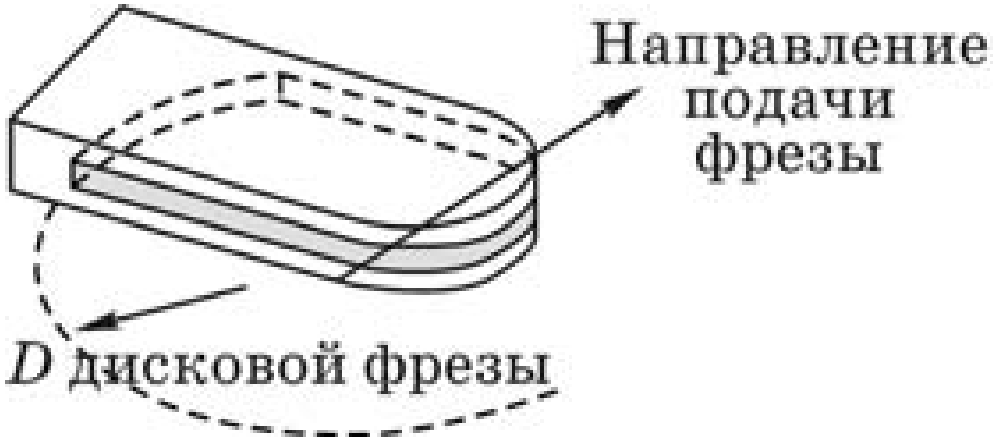


Рисунок 33 - Детали, имеющие проушины

Рассмотрим вопросы резьбонарезания, в том числе применения метчиков и резьбофрез.

Применение метчиков на станках с ЧПУ не может быть признано технологичным, по крайней мере, по следующим причинам:

- метчики в основном изготавливают из быстрорежущих сталей, что снижает производительность и ограничивает возможность обработки материалов повышенной (HRC $\geq$ 42) и высокой твердости (HRC до 55);
- для исключения поломки метчиков необходимо применение специальных патронов с муфтами предельного момента, для каждого из обрабатываемых материалов и их термической обработки необходимо иметь экспериментально полученные значения крутящих моментов с учетом износа инструмента;
- метчики обеспечивают низкую точность и качество обработанной поверхности;
- для ряда материалов, таких как титановые сплавы и высокопрочные нержавеющие стали необходимо применение специальных острозаточенных конструкций инструмента, которые практически не подлежат переточке;

- нарезание резьбы метчиками выполняется при малой скорости резания, а современное оборудование с электрошпинделями при низкой частоте вращения имеет незначительную мощность привода главного движения, что часто исключает возможность применения метчиков.

С учетом вышеприведенного для повышения технологичности деталей становится актуальным применение монолитных твердосплавных резьбовых фрез.

Резьбовые фрезы обеспечивают обработку резьбовых отверстий в любых материалах начиная от диаметра М1, причем для закрепления резьбовых фрез не требуется специальная шпиндельная оснастка.

Преимуществами нарезания резьбы методом фрезерования являются:

- высокая производительность фрезерования резьбы небольших диаметров и с глубиной не более 2,5*D*;
- высокая надежность процесса по сравнению с применением метчиков;
- низкая высота микронеровностей на обработанном профиле резьбы;
- возможность нарезания резьбы на всю глубину отверстия;
- формирование транспортабельной стружки для любых обрабатываемых материалов;
- отсутствие необходимости применения специальных масляных СОЖ;
- минимальные погрешности шага резьбы;
- возможность обработки материалов с твердостью до HRC 60;
- обработка одним инструментом как глухих, так и сквозных отверстий;
- обработка одним инструментом как правой, так и левой резьбы;
- низкие усилия резания, что позволяет обрабатывать тонкостенные детали;

- возможность совмещения процессов сверления и нарезания резьбы специальными фрезами с рабочим торцом.

Типовая схема фрезерования внутренней резьбы приведена на рисунке 34а.

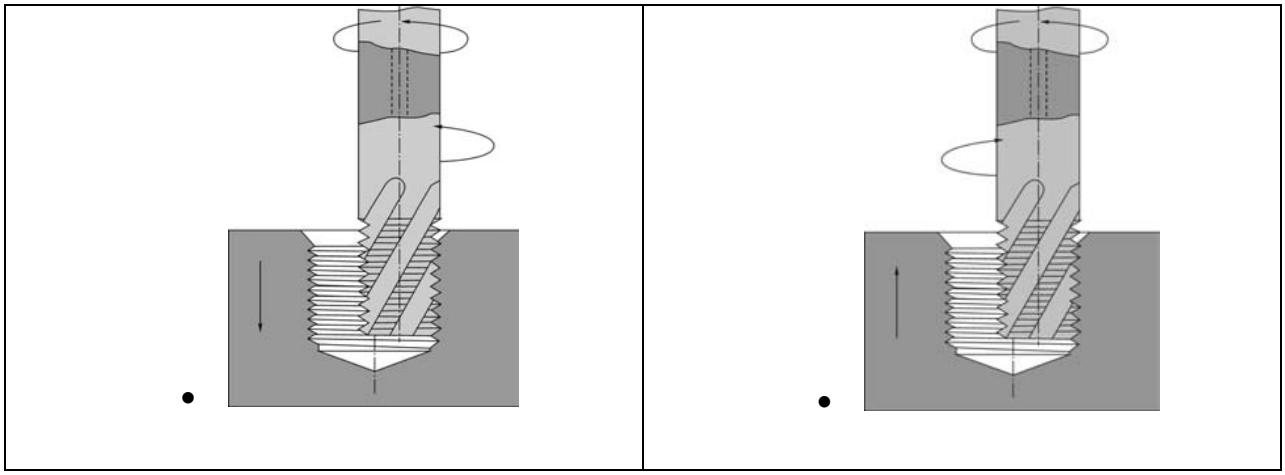


Рисунок 34 - А) Типовая схема фрезерования внутренней резьбы
Б) Рекомендуемая схема фрезерования внутренней резьбы

Для типовой схемы фрезерования характерно направление вращения инструмента и планетарно движения в одну сторону, т. е. врезание зуба фрезы выполняется с нулевой толщины среза (встречное фрезерование). Все это приводит к увеличению работы пластической деформации и снижению качества обработанной поверхности и стойкости инструмента. Фрезерование резьбы для повышения качества обработанной поверхности необходимо выполнять по схеме попутного фрезерования (рис. 34б).

Для рекомендуемой схемы фрезерования характерно направление вращения инструмента и планетарного движения в разные стороны, т. е. врезание зуба фрезы выполняется с максимальной толщины среза (попутное фрезерование). Все это приводит к повышению качества обработанной поверхности и стойкости инструмента. Типовой цикл обработки приведен на рисунке 35.

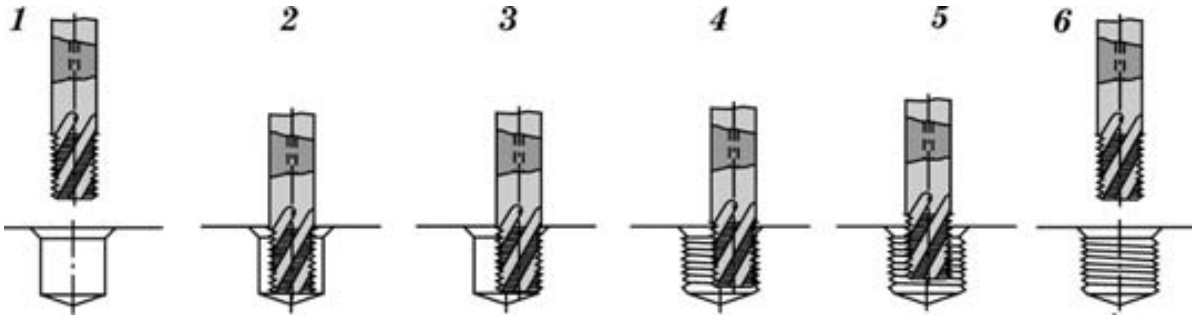


Рисунок 35 - **Рекомендуемый цикл фрезерования резьбы:**

1 — ускоренный подвод фрезы на глубину, равную длине отверстия;
2 — исходная точка для начала фрезерования;
3 — врезание фрезы на всю глубину профиля на участке, равном углу поворота 1/4 шага резьбы, врезание выполняется в соответствии с рисунком 36;
4 — фрезерование резьбы;
5 — выход фрезы из работы на участке, равном углу поворота на 1/4 шага резьбы;
6 — ускоренный отвод инструмента.

Фрезерование внутренних отверстий может выполняться на глубину от 1*D* до 4*D*. Меньшие значения относятся к труднообрабатываемым материалам, большие — к алюминиевым сплавам. Значения диаметров резьбовых фрез выбираются так же, как и для обработки наружной резьбы, 2/3*D* — для основных шагов и 3/4*D* — для мелких. При необходимости обработки более глубокой резьбы необходимо применять фрезы с расположением режущих элементов на одном диске (рис. 36).

Фрезы обеспечивают значительное снижение нагрузок на технологическую систему, их применение менее производительно по сравнению с многониточными исполнениями, но значительно выше при использовании метчиков.

Фрезы по варианту 36*а* применяют для очень малых диаметров (М≥1), вариант 36*б* — с одной трехкромочной пластиной для средних и соответственно 36*в* — для больших.

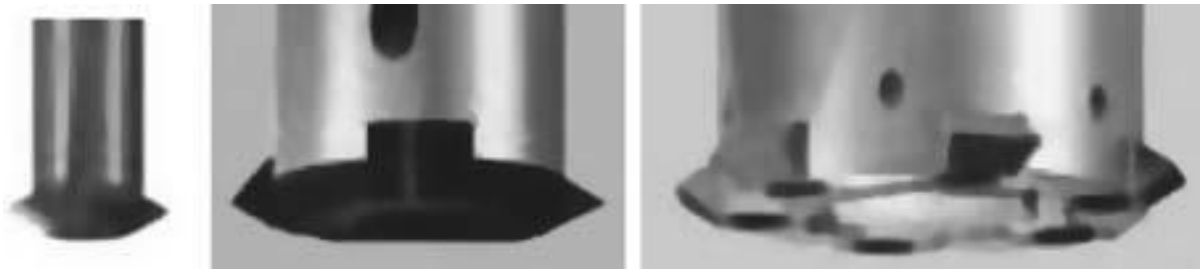


Рисунок 36 – Фрезы с расположением режущих элементов на одном диске

Оценка технологичности других конструктивных элементов деталей по сравнению с универсальным оборудованием значительных отличий не имеет, поэтому в данной главе ее не рассматриваем.

Список использованных источников

1. Технология машиностроения : учебник и практикум для СПО / А. В. Тотай [и др.] ; под общ. ред. А. В. Тотая. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Юрайт, 2018. — 241 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-09041-3. — Режим доступа : www.biblio-online.ru/book.

2. Ковшов, А.Н. Технология машиностроения. [Электронный ресурс] : учеб. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2016. — 320 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/86015 .

3. Трофимов, А.В. Основы технологии машиностроения. Проектирование технологических операций обработки резанием. Часть I,2. Определение параметров заготовки. Выбор оборудования и технологического оснащения. [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.В. Трофимов, Т.И. Горбачева. — Электрон. дан. — СПб. :СПбГЛТУ, 2016. — 104 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book.

4. Клепиков В.В. Технология машиностроения: учебник. - 2-е изд. - М.: Форум, 2014.