

# **Станки с ЧПУ: Устройство, программирование, инструментальное обеспечение и оснастка**



**•ФЛИНТА•**

Аверченков А.В., Терехов М.В., Жолобов А.А., Мрочек Ж.А.,  
Шкаберин В.А.

**СТАНКИ С ЧПУ:  
УСТРОЙСТВО, ПРОГРАММИРОВАНИЕ,  
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ОСНАСТКА**

*Учебное пособие*

2-е издание, стереотипное

Москва  
Издательство «ФЛИНТА»  
2014

УДК 621.9  
ББК 34.63-5  
С764

С764      **Станки с ЧПУ: устройство, программирование, инструментальное обеспечение и оснастка** [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.А. Жолобов, Ж.А. Мрочек, А.В. Аверченков, М.В. Терехов, В.А. Шкаберин. – 2-е изд., стер. – М. : ФЛИНТА, 2014. – 355 с.

ISBN 978-5-9765-1830-8

Рассмотрены особенности конструкций современных станков с ЧПУ, прогрессивного металлообрабатывающего инструмента и приспособлений, рассмотрены особенности разработки технологических процессов с применением оборудования с ЧПУ.

Также рассмотрены основы программирования оборудования с ЧПУ на примере наиболее распространенных российских систем с ЧПУ (NC-201 и FANUC 21i) и применения САМ-систем для написания управляющих программ, а также были рассмотрены возможности разработки и применения виртуальных моделей технологического оборудования с ЧПУ, инструмента и приспособлений.

Учебное пособие предназначено для студентов технических специальностей высших учебных заведений, а также может быть полезно инженерно-техническим работникам, занимающимся повышением квалификации.

Учебное пособие создано при поддержке гранта президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-417.2010.8

ISBN 978-5-9765-1830-8

© Издательство «ФЛИНТА», 2014

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	9
ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	11
1.1 ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ .....	11
1.2. ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАНКОВ С ЧПУ .....	16
1.3. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАНКОВ С ЧПУ .....	17
1.4. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ СТАНКОВ С ЧПУ .....	19
1.5. КЛАССИФИКАЦИЯ УСТРОЙСТВ ЧПУ СТАНКОВ.....	20
ГЛАВА 2. УСТРОЙСТВО СТАНКОВ С ЧПУ .....	26
2.1. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ..	26
2.1.1. Структура системы УЧПУ, построенной на основе ПЭВМ .....	26
2.1.2. Система ЧПУ фирмы Fanuc .....	28
2.1.3. Система ЧПУ фирмы Siemens.....	30
2.2. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА ПРИВОДОВ .....	31
2.2.1. Классификация приводов .....	31
2.2.2. Приводы главного движения .....	34
2.2.3. Следящие приводы подач .....	39
2.2.4. Дискретные (шаговые) приводы подач.....	44
2.2.5. Привод вспомогательных механизмов.....	46
2.3. УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНЫ ИНСТРУМЕНТА (АСИ) СТАНКОВ С ЧПУ .....	48
2.3.1. Устройства АСИ для станков токарной группы .....	48
2.3.2. Устройства АСИ для фрезерно-сверлильно-расточных (многоцелевых) станков.....	54
2.3.3. Устройство АСИ токарно-фрезерных обрабатывающих центров.....	61
ГЛАВА 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ СТАНКОВ С ЧПУ .....	66

<b>3.1. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ПРИСПОСОБЛЕНИЯМ .....</b>	<b>66</b>
<b>3.2. РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ ..... НА СТАНКАХ С ЧПУ .....</b>	<b>68</b>
<b>3.3. МАТЕРИАЛЫ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ СОВРЕМЕННОГО ИНСТРУМЕНТА НА ПРИМЕРЕ МАТЕРИАЛОВ SANDVIK .....</b>	<b>71</b>
<b>3.3.1. Режущий инструмент для токарных станков с ЧПУ .....</b>	<b>74</b>
<b>3.3.2. Режущий инструмент многоцелевых станков с ЧПУ .....</b>	<b>80</b>
<b>3.4. РЕЖИМЫ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ .....</b>	<b>89</b>
<b>3.4.1. Точение .....</b>	<b>89</b>
<b>3.4.2. Фрезерование .....</b>	<b>97</b>
<b>3.4.3. Получение отверстий .....</b>	<b>101</b>
<b>3.4.4. Рекомендуемые режимы резания.....</b>	<b>104</b>
<b>3.5. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ .....</b>	<b>122</b>
<b>3.5.1. Вспомогательный инструмент для станков с ЧПУ токарной группы.....</b>	<b>123</b>
<b>3.5.2. Вспомогательный инструмент для станков .....</b>	<b>128</b>
<b>сверлильно-расточной и фрезерной групп .....</b>	<b>128</b>
<b>ГЛАВА 4. ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ .....</b>	<b>137</b>
<b>4.1. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ПЕРЕХОДОВ ПРИ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ .....</b>	<b>137</b>
<b>4.2. КООРДИНАТНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ .....</b>	<b>141</b>
<b>4.3. ОБРАБОТКА СИСТЕМЫ ОТВЕРСТИЙ .....</b>	<b>142</b>
<b>4.4. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ .....</b>	<b>144</b>
<b>4.4.1. Особенности обработки деталей на многоцелевых станках с ЧПУ .....</b>	<b>144</b>
<b>4.4.2. Последовательность выполнения операций на МС.....</b>	<b>147</b>
<b>4.4.3. Последовательность выполнения переходов на МС .....</b>	<b>148</b>
<b>ГЛАВА 5. ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ .....</b>	<b>151</b>
<b>5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ .....</b>	<b>151</b>
<b>5.2. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ЛИНЕЙНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СТАНКОВ С ЧПУ .....</b>	<b>156</b>
<b>5.3. СПОСОБЫ НАЛАДКИ СТАНКОВ С ЧПУ СВЕРЛИЛЬНО- ФРЕЗЕРНО-РАСТОЧНОЙ ГРУППЫ .....</b>	<b>158</b>

<b>5.4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАНКОВ С ЧПУ .....</b>	<b>162</b>
<b>ГЛАВА 6. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ С ЧПУ .....</b>	<b>167</b>
<b>6.1. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТАНКОВ С ЧПУ .....</b>	<b>167</b>
<b>6.2. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ СТАНКА .....</b>	<b>168</b>
<b>6.3. МЕТОДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ .....</b>	<b>172</b>
<b>6.4. КОДИРОВАНИЕ И ЗАПИСЬ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ .....</b>	<b>175</b>
6.4.1. Структура управляющей программы .....	175
6.4.2. Структура кадров.....	178
6.4.3. Структура слов.....	179
<b>6.5. ФОРМАТ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>188</b>
<b>6.6. ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ УП .....</b>	<b>190</b>
<b>6.7. РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ДВИЖЕНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ .....</b>	<b>192</b>
<b>ГЛАВА 7. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ, ОСНАЩЕННЫХ УЧПУ NC-201 .....</b>	<b>194</b>
<b>7.1. ФОРМАТ КАДРА .....</b>	<b>195</b>
<b>7.2. ТИПЫ КАДРОВ .....</b>	<b>196</b>
<b>7.3. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПОДАЧИ .....</b>	<b>197</b>
<b>7.4. ПРОГРАММИРОВАНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ.....</b>	<b>197</b>
<b>7.5. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА .....</b>	<b>198</b>
<b>7.6. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТАКАХ, ОСНАЩЕННЫХ СИСТЕМОЙ ЧПУ NC-201 .....</b>	<b>198</b>
7.6.1. Программирование подготовки к обработке.....	198
7.6.2. Программирование перемещений .....	200
7.6.3. Программирование в абсолютной системе, по приращениям и относительно нуля станка (G90, G91, G79) .....	205
7.6.4. Определение режима динамики приводов при программировании .....	206
7.6.5. Нарезание резьбы .....	209
7.6.6. Технологические циклы.....	210
<b>7.7. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ НА ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРАХ.....</b>	<b>216</b>
7.7.1. Программирование угловых перемещений .....	216

7.7.2. Программирование обработки отверстий на станках типа ОЦ.....	218
7.7.3. Программирование фрезерной обработки .....	225
<b>ГЛАВА 8. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ, ОСНАЩЕННЫХ СИСТЕМОЙ FANUC21I .....</b>	<b>232</b>
8.1. КОНФИГУРАЦИЯ ПРОГРАММЫ .....	233
8.2. ЗАДАНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ .....	234
8.3. ФУНКЦИЯ ИНСТРУМЕНТА (T ФУНКЦИЯ) .....	236
8.4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ.....	238
8.5. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ (G ФУНКЦИИ) .....	240
8.6. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИНСТРУМЕНТА .....	243
8.6.1. Позиционирование (G00).....	243
8.6.2. Линейное интерполирование (G01).....	244
8.6.3. Круговая интерполяция (G02, G03).....	245
8.6.4. Нарезание резьбы с постоянным шагом (G32).....	249
8.7. ФУНКЦИЯ ПРОПУСКА (G31) .....	251
8.8. БЫСТРАЯ ПОДАЧА .....	253
8.8.1. Подача в минуту (G98).....	254
8.8.2. Подача на оборот (G99) .....	254
8.9. ФУНКЦИЯ КОМПЕНСАЦИИ .....	255
<b>ГЛАВА 9. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАНКОВ С ЧПУ .....</b>	<b>257</b>
9.1. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САМ-СИСТЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УП .....	260
9.1.1. Структура САМ-системы .....	263
9.1.2 Разработка информационно-технического комплекса создания постпроцессоров для современного технологического оборудования с ЧПУ .....	264
9.1.3 Создание постпроцессоров для современного технологического оборудования с ЧПУ с использованием генератора постпроцессоров .....	274
G-POST .....	274
9.2. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «ФЛАНЕЦ»...	278

ГЛАВА 10. РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ, ИНСТРУМЕНТА И ПРИСПОСОБЛЕНИЙ.....	284
10.1. РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕКИ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ В РАМКАХ ИНТЕГРИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ .....	284
10.1.1. Настройка структуры библиотеки станочных приспособлений .....	286
10.1.2. Установка виртуальных станочных приспособлений ....	286
при моделировании механообработки .....	286
10.1.3. Создание таблицы семейств и гибких компонентов .....	287
10.1.4. Создание станочных приспособлений на примере кулачков для трехкулачкового патрона .....	289
10.2. РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕКИ ВИРТУАЛЬНЫХ 3D-МОДЕЛЕЙ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В СИСТЕМЕ PRO/ENGINEER WILDFIRE 4.0 .....	292
10.2.1 Анализ базовых инструментов САПР Pro/ENGINEER для создания библиотек виртуальных 3D-моделей режущего инструмента.....	292
10.2.2. Разработка структуры библиотеки виртуальных 3D-моделей режущего инструмента .....	293
10.2.3 Основные этапы создания 3D-моделей режущего инструмента.....	295
10.2.4 Определение режимов резания инструмента .....	298
10.2.5. Использование режимов резания инструмента.....	300
10.2.6. Библиотека параметров инструмента.....	302
10.2.7. Твердотельные модели инструментов в Pro/ENGINEER Wildfire 4.0.....	302
10.2.8. Использование модели инструмента.....	304
10.2.9. Твердотельный инструмент для токарной обработки....	307
10.2.10. Использование настраиваемого инструмента при сверлении.....	308
10.2.11. Пример создания токарного инструмента .....	309
10.2.12. Примеры токарного инструмента, включенного в библиотеку.....	316
10.3. РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ .....	319

10.3.1. Анализ современных автоматизированных систем верификации и выбор оптимальной для создания виртуальных моделей технологического оборудования с ЧПУ .....	319
10.3.2. Пример разработки виртуальной модели токарно- фрезерного станка Takisawa EX-308 в автоматизированной системе VERICUT .....	329
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>349</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>350</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Для промышленных предприятий, использующих процессы механической обработки деталей, актуальны задачи снижения трудоемкости операций и себестоимости изготовления деталей с сохранением заданных показателей качества. Поэтому технологические бюро ведут постоянный поиск путей совершенствования технологических процессов обработки с учетом возможностей, предоставляемых новым высокопроизводительным инструментом и современным информационно-программным обеспечением.

Особенности современного этапа развития машиностроения характеризуется значительным распространением и использованием многофункциональных станков с ЧПУ. Применение такого типа оборудования позволяет значительно повысить производительность обработки и улучшить качество изготавливаемых деталей. Главная особенность этого оборудования состоит в том, что движение инструмента относительно обрабатываемой заготовки заранее программируется и записывается в числовой форме.

Создание систем числового программного управления (СЧПУ) явилось своеобразным переломным моментом в развитии станкостроения, ознаменовав начало качественно нового этапа. Сочетание высокой производительности, присущей специальным станкам, с гибкостью, свойственной универсальному оборудованию, сделало станки с числовым программным управлением главным средством автоматизации серийного и мелкосерийного производств.

Сегодня станки с числовым программным управлением распространены достаточно широко, начиная от малых предприятий и заканчивая предприятиями в больших промышленных зонах. Трудно найти область машиностроения, где не используются уникальные возможности такого оборудования. Поэтому каждый специалист в области машиностроения должен хорошо представлять, что дает производству использование этого высокотехнологического оборудования.

Так, конструктору необходимо обладать знаниями о ЧПУ с целью применения более эффективной техники назначения размеров или допусков при проектировании деталей, поверхности которых

будут обрабатываться на станках с ЧПУ. Технологу необходимо понимать сущность ЧПУ для оптимального проектирования оснастки и режущего инструмента. Инженеры, контролирующие качество изготовления, обязаны учитывать технологические возможности станков с ЧПУ в цеху для того, чтобы правильно планировать будущий процесс контроля качества, разработки плана загрузки оборудования. Наконец програмисты, операторы-наладчики и другой персонал цехов обязаны иметь глубокий уровень знаний о CNC-оборудовании.

В учебном пособии рассматриваются основы теории ЧПУ, представлены наиболее важные аспекты использования данного интеллектуального оборудования. Главная цель заключается в том, чтобы студенты, аспиранты, инженеры и те, кто в будущем будет работать непосредственно на этих станках, ознакомились с каждой из функций ЧПУ и могли самостоятельно расширить знания об оборудовании с ЧПУ.

Также в учебном пособии рассматриваются основы программирования оборудования на примере систем с ЧПУ NC-201 и FANUC 21i и применения CAM-систем для написания управляющих программ, а также рассмотрены возможности разработки и применения виртуальных моделей технологического оборудования с ЧПУ, инструмента и приспособлений.

В учебном пособии также рассматриваются возможности современного металлорежущего инструмента для станков с ЧПУ, часто материалов подготовлена с применением рекомендаций ведущего мирового производителя инструмента – фирмы «Сандвик».

## ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### 1.1 ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ

Станки с ручным управлением - универсальные станки, где рабочий, пользуясь чертежом детали или эскизом, преобразует прочитанную им информацию в определенную последовательность движения рук и воздействует на органы управления станком. В этом случае человек задает и выполняет программу управления станком, то есть управляет циклом работы и величиной перемещений исполнительных органов станка. Достоинством такой системы управления является ее универсальность и гибкость. Однако использование человека в качестве основного элемента системы управления станком сдерживает рост производительности этого оборудования.

Универсальные станки с ручным управлением стали оснащать системами ручного ввода данных и цифровой индикации (в обозначении отечественные модели станков отмечаются индексом Ф1). Рабочий на специальной панели задает численное значение координат, на которые должны выйти исполнительные органы станка после включения подачи. На подвижных органах таких станков устанавливаются датчики положения, которые подают сигналы в систему цифровой индикации. Числовые значения координат детали или инструмента непрерывно индицируются на световом табло (визуализаторе), что позволяет контролировать получаемые параметры в процессе обработки.

Системы ручного ввода данных и цифровой индикации обеспечивают, в некоторой степени, повышение производительности и точности обработки, снижают утомляемость рабочего. Применяются чаще всего в станках токарной и сверлильно-расточной групп. Однако, эти системы не автоматизируют рабочий цикл станка и не высвобождают рабочего.

Использование человека в качестве основного элемента системы управления станком сдерживает рост производительности. Поэтому, дальнейшее развитие металлообрабатывающих станков связано с

созданием высокопроизводительных станков-автоматов и полуавтоматов, программа управления которыми задается на програмноносителе. Рабочий цикл такого оборудования полностью автоматизирован.

В зависимости от способа задания на програмноносителе информации, необходимой для реализации рабочего цикла, системы управления металлообрабатывающими станками делятся на числовые и нечисловые.

В нечисловых системах управления информация физически материализована в виде модели-аналога, управляющей исполнительными органами станка. Рабочий цикл станков с нечисловыми системами управления формируется либо при разработке самой системы управления, либо при проектировании програмноносителя. В качестве програмноносителей в таких системах управления используются кулачки, копиры, шаблоны, путевые и временные командоаппараты. Гибкость такой системы управления обеспечивается за счет проектирования и изготовления новых програмноносителей, переналадки командоаппарата и самого станка.

Станки с програмноносителем в виде модели-аналога имеют важное достоинство, состоящее в том, что возможности увеличения производительности станков не ограничиваются субъективным фактором – участием человека в реализации рабочего цикла.

Основные недостатки аналоговых програмноносителей:

- невозможность быстрой переналадки станков на обработку заготовки другой детали;
- высокая стоимость переналадки;
- неудовлетворительная точность обработки вследствие повышенного износа програмноносителей, т. к. они передают не только закон перемещения исполнительных органов станка, но и усилия для его реализации.

В силу этих особенностей аналоговые програмноносители используются в станках для массового и крупносерийного производств с устойчивой во времени конструкцией выпускаемых изделий.

В серийном производстве применение нашли станки с цикловой системой программного управления (в обозначении модели станка отмечается индексом Ц). В этих станках в програмноноситель

вводится технологическая информация, а геометрическая информация задается расстановкой упоров на специальных линейках или барабанах.

Различают следующие виды систем циклового программного управления: кулачковые, аппаратные, микропрограммные и программируемые.

Функциональная схема цикловой системы кулачкового управления, выполненная на командоаппарате с шаговым приводом или на штекерной панели, приведена на рис. 1.1. Устройство задания и ввода программы обеспечивает систему управления станком технологической информацией и осуществляет поэтапный ввод этой информации. Устройство задания программы чаще всего выполняют в виде штекерной или кнопочной панели, устройство поэтапного ввода – в виде шагового искателя или счетно-релейной схемы.

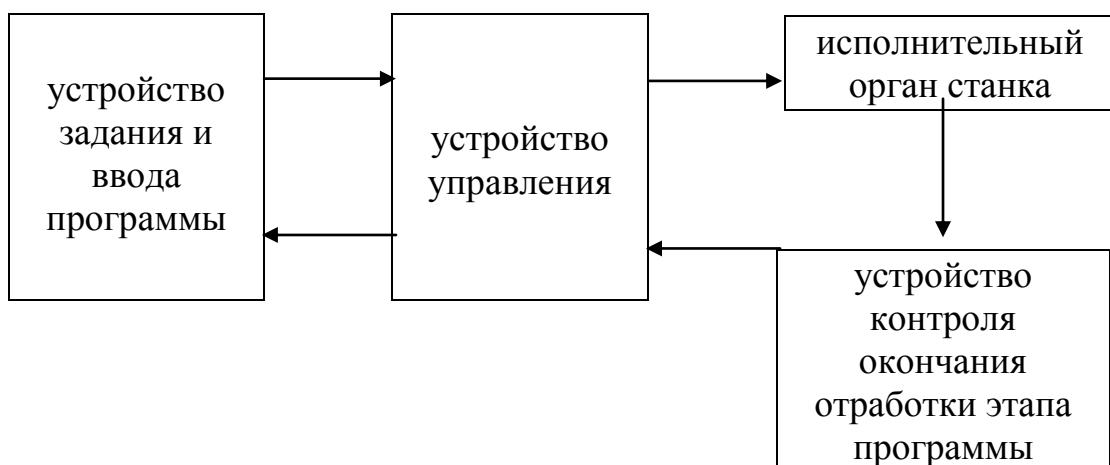


Рис. 1.1 Функциональная схема цикловой системы программного управления

Программа управления формируется расстановкой штекеров в соответствующие гнезда панели с тем, чтобы составить такие электрические схемы включения исполнительных органов станка, которые, сменяя друг друга, осуществляют последовательные этапы обработки.

При наличии стандартных циклов система управления иногда содержит дополнительную штекерную панель.

Для облегчения программирования станка используют трафареты, заготавливающиеся заранее. Их накладывают на панель, и в отверстия вставляют штекеры.

Штекерные панели могут быть выполнены также по типу функциональных программных полей. В этом случае всё поле штекерной панели разделяется на функциональные участки. Программа задается путем соединения отдельных гнезд различных функциональных участков панели.

Кроме штекерных панелей, применяются кулачковые командоаппараты, представляющие собой цилиндрические барабаны с рядами гнезд. Число гнезд по окружности барабана определяет количество возможных этапов программы, а число гнезд вдоль образующей – возможное число программируемых параметров. В гнезда барабана закладывают шарики или штифты, воздействующие на электрические контакты, включая цепи соответствующих исполнительных органов станка. Устройство управления, усиливая и размножая команды, обеспечивает управление элементами, перемещающими исполнительные органы станка. Принцип работы аппаратного управления основан на формировании необходимых электрических схем включения исполнительных органов станка с использованием контактной или бесконтактной аппаратуры.

В микропрограммных системах весь набор необходимых циклов программного управления хранится в запоминающих устройствах. За последнее время широкое применение получило программируемое цикловое управление, основанное на использовании бесконтактных устройств программируемой логики, получивших название программируемых контроллеров. В качестве элементной базы программируемых контроллеров используются микроэлектронные интегральные схемы. Программу обработки задают нажатием клавиш с обозначениями логических элементов. По сравнению с релейно-контактной аппаратурой, бесконтактные электронные блоки имеют высокую надежность в работе и малые габариты.

Для задания геометрической информации часто используют групповые путевые переключатели, состоящие из упоров и блоков переключателей. Упоры устанавливают на панели или барабане с пазами в соответствии с размерами, заданными на эскизе обработки. Панели обычно выполняются съемными, что позволяет проводить их настройку вне станка. Упоры бывают нерегулируемые (грубые) и регулируемые (точные) с микрометрическими винтами. В качестве упоров могут использоваться штрихи из ферромагнитного материала на латунном барабане (в качестве групповых переключателей).

Магнитная головка, встречая такой штрих, дает сигнал об окончании перемещения. Окончание отработки этапа программы может контролировать реле времени, реле давления и т. п.

Цикловая система программного управления отличается высокой надежностью в работе и простотой составления программы обработки. Однако наладка и переналадка станков с цикловой системой управления требует значительного времени, поэтому эти станки используют в средне- и крупносерийном производстве при относительно больших партиях запуска заготовок, обеспечивающих работу станка без переналадки в течение не менее одной смены.

В силу ограниченных технологических возможностей, системы циклового программного управления позволяют проводить обработку деталей простой геометрической формы и сравнительно невысокой точности. Эти системы наиболее широко используют в токарно-револьверных станках.

Отличие станков с ЧПУ от станков с нечисловыми системами управления заключается не только в принципе построения программного управления. Реализация идеи ЧПУ выдвинула ряд требований к конструкции самого станка, без выполнения которых применение системы ЧПУ остается малоэффективным. Так, система ЧПУ позволяет обеспечить высокую точность перемещения исполнительных органов станка (до 10 нм). Для создания возможности получения высокой точности размеров детали при обработке необходимо, чтобы механические узлы станка удовлетворяли соответствующим требованиям. Поэтому оснащение станков системами ЧПУ потребовало пересмотреть требования к их конструкции.

Рабочий цикл станка с ЧПУ осуществляется автоматически от управляющей программы. Управляющая программа – это совокупность команд на языке программирования, соответствующих заданному алгоритму функционирования станка по обработке конкретной заготовки. Управляющая программа содержит как геометрическую, так и технологическую информацию.

В качестве программа-носителя используют перфоленты, магнитные ленты, гибкие магнитные диски, постоянные запоминающие устройства, Flash – накопители или подключение к компьютерной локальной сети предприятия.

## 1.2. ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Основная функция любого оборудования с ЧПУ – автоматическое и точное управление движением рабочих органов. Рабочие органы любого станка с ЧПУ имеет два или более направления для движения, которые называются осями. Причем, движение по этим осям осуществляется автоматически и с заданной точностью.

У ряда станков используются две линейные оси, движение по которым осуществляется по прямому пути, и оси вращения, движение по которым выполняется по кругу. На универсальном станке движение заготовки детали или инструмента осуществляется путем ручных операций, выполняемых станочником (например, вращением рукояток).

Станки с ЧПУ оснащены сервомоторами, которые приводятся в действие системой ЧПУ, а та, в свою очередь, в точности исполняет команды управляющей программы. Обобщая, можно сказать, что тип движения (ускоренный, линейный или круговой), оси перемещений, величина и скорость перемещения программируются во всех типах систем с ЧПУ.

Система ЧПУ, исполняя команды управляющей программы, посылает необходимое количество импульсов шаговому двигателю. Его вращение передается оси, с которой, как правило, через шарико-винтовую пару, связан рабочий стол. Стол линейно перемещается. Устройство обратной связи, расположенное в противоположном конце оси, позволяет системе ЧПУ подсчитать, на сколько градусов повернулась ось, т. е. какое число импульсов реально отработал шаговый двигатель.

В условиях нормальной эксплуатации один станок с ЧПУ позволяет заменить от 2 до 6 единиц универсального оборудования, кроме того, значительно сокращается срок подготовки производства и длительность цикла изготовления продукции, возрастает гибкость.

Экономическая целесообразность использования станков с ЧПУ оправдывается, как правило, при обработке заготовок серийным партиями. С целью увеличения эффективности использования дорогостоящих станков с ЧПУ, особенно обрабатывающих центров

(ОЦ), рекомендуется их эксплуатировать в режиме двух- и трёх- и четырехсменной работы.

Первое преимущество использования станков с ЧПУ заключается в более высоком уровне автоматизации. Случаи вмешательства станочника или оператора в процесс изготовления детали могут быть исключены или сведены к минимуму. Процесс технологической подготовки производства полностью управляет инженером-технологом. Большинство станков с ЧПУ могут работать автономно в течение всего процесса обработки заготовки детали, поэтому оператор-станочник может выполнять другие задачи. Предприятия, применяющие станки с ЧПУ, получают дополнительные преимущества: уменьшение числа ошибок оператора-станочника, предсказуемость времени обработки и более полная загрузка оборудования. Поскольку станок управляет при помощи программы, квалификация оператора станка с ЧПУ может быть значительно ниже, по сравнению с образованием станочника, работающего на универсальном оборудовании.

Второе преимущество использования технологии ЧПУ заключается в более точном изготовлении детали. Сегодня производители станков с ЧПУ говорят о высочайшей точности и надежности оборудования. Это означает, что однажды отлаженная управляющая программа может быть использована на станке с ЧПУ для производства двух, десяти или тысячи абсолютно идентичных деталей, причем при полном соблюдении требований к точности.

Третьим преимуществом применения любого оборудования с ЧПУ является гибкость и возможность быстрой переналадки оборудования. На оборудовании с программным управлением изготовление разных деталей сводится к простой замене управляющей программы и, в некоторых случаях, режущего инструмента. Проверенная управляющая программа может быть использована любое раз и через любые промежутки времени.

### **1.3. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАНКОВ С ЧПУ**

Основными техническими характеристиками являются следующие [25]:

1. Класс точности (отечественное оборудование). Обозначается следующими буквами: П—повышенной точности; В—высокой точности; А—особо высокой точности, С—особо точные (прецзионные). По каждому классу точности и группе станков нормируется допустимая величина погрешности.

2. Вид устройства ЧПУ (УЧПУ) обозначается индексами (отечественное оборудование), входящими в наименование модели станка: Ф1 – станки с цифровой индикацией (в том числе с предварительным набором координат); Ф2 – станки с позиционными и прямоугольными системами управления; Ф3 – станки с контурными прямолинейными и криволинейными системами управления; Ф4 – станки с универсальной системой управления для позиционно-контурной обработки; Ц – станки с цикловым программным управлением.

3. Основные параметры станка: наибольший диаметр обрабатываемого изделия (для токарных станков); наибольший диаметр сверления, (для сверлильных станков); диаметр расточного шпинделя (для расточных станков); размеры стола (для фрезерных станков) и т. д.

4. Наличие инструментального магазина.

5. Наличие устройства автоматической загрузки заготовок.

6. Габаритные размеры станка и его масса.

7. Число управляемых координат и число одновременно управляемых координат (число одновременно управляемых координат определяет траекторию движения инструмента относительно заготовки).

При сложной обработке на фрезерных, токарных и многоцелевых станках используют УЧПУ с непрерывным (контурным) управлением одновременно по нескольким координатам. Существуют УЧПУ с управлением одновременно по трем, четырем и пяти координатам. Последние используются в станках со сложной траекторией инструмента. В токарных станках обычно применяются УЧПУ с одновременным управлением по двум координатам, а в токарно-револьверных и токарно-карусельных – по трем координатам.

## 1.4. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ СТАНКОВ С ЧПУ

Для точной обработки заготовки деталей на станках с ЧПУ необходима высокая точность изготовления всех его деталей, узлов и станка в целом. Точность станка определяется точностью изготовления его деталей и узлов (особенно направляющих корпусных деталей, несущих инструмент и заготовку), точностью изготовления приводов механизмов, качеством сборки станка, жесткостью его элементов, зазорами в сопрягаемых деталях, условиями трения в направляющих при перемещении рабочих органов и др. Жесткость шпинделя и других ответственных узлов станка должна превосходить жесткость аналогичных узлов, предназначенных для традиционных станков.

При трогании с места исполнительный орган начинает движение не одновременно с действием управляющего сигнала, а только после того, как будут выбраны зазоры в передачах, произойдет некоторая упругая деформация элементов, а усилие, воздействующее на управляемый орган, превзойдет сопротивление сил трения и сил резания. Действие указанных факторов особенно важно учитывать при конструировании ходовых винтов - важнейших звеньев передачи к исполнительным органам команду на перемещение. Именно поэтому в станках с ЧПУ используют шарико-винтовые пары, отличающиеся высокими точностью, износостойкостью и жесткостью благодаря применению гаек с предварительным натягом и большему диаметру ходового винта. Последний жестко крепится в осевом направлении, для чего используют упорные подшипники с предварительным натягом.

В станках с ЧПУ, по сравнению с традиционными станками, кинематические цепи, передающие движение от двигателя к исполнительному механизму, значительно короче благодаря применению автономных приводов для всех рабочих движений. Эти конструктивные особенности позволяют значительно увеличить статическую и динамическую жесткость привода.

Точность перемещения рабочих органов также зависит от точности срабатывания по времени механизмов останова: электромагнитных муфт, электродвигателей, тормозных устройств.

Для уменьшения времени торможения и пуска конструкторы стремятся уменьшить маховые массы вращающихся деталей и электромеханическую постоянную времени привода.

Дискретность (цена импульса) - это перемещение механизма, соответствующее одному импульсу управляющей программы. Дискретность перемещения определяет значение ошибки, обусловленной представлением траектории движения в цифровой форме. Чтобы снизить эту погрешность, целесообразно уменьшить дискретность. Однако это приводит к увеличению управляющей частоты для обеспечения требуемой скорости перемещения. При возрастании частоты усложняются УЧПУ, привод подач и измерительные преобразователи обратной связи. Кроме того, снижение дискретности не всегда является оправданным, так как система станок - деталь может вносить существенно большие погрешности. Исходя из требований точности и производительности в станках фрезерной и сверлильной групп в большинстве случаев принимается дискретность 10 мкм, для многоцелевых, координатно-расточных, шлифовальных, электроэрозионных вырезных станков 0,5—1 мкм. В токарных и фрезерных станках повышенной точности дискретность не должна превышать 1 мкм.

## **1.5. КЛАССИФИКАЦИЯ УСТРОЙСТВ ЧПУ СТАНКОВ**

Термины и определения основных понятий в области числового программного управления металлообрабатывающим оборудованием устанавливает ГОСТ 20523-80.

Числовое программное управление станком – это управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе, в которой данные заданы в цифровой форме.

По характеру движения исполнительных органов системы ЧПУ классифицируются на: позиционные, контурные, универсальные, синхронные [25].

При позиционном управлении перемещение рабочих органов станка происходит в заданные точки, причем траектория перемещения не задается. Позиционные устройства ЧПУ обеспечивают автоматическое перемещение рабочего органа станка в координату, заданную программой, без обработки в процессе

перемещения рабочего органа. Эти устройства применяют в сверлильно-расточных и других станках. Перемещение инструмента от одной точки (координаты) обработки к другой выполняется на ускоренных ходах. Специфичным для этого класса УЧПУ является требование обеспечения точности только при остановке в заданной координате. Вид траектории при перемещении из одной координаты в другую не задается. Однако время перемещения должно быть минимальным. Учитывая значительный процент холостых ходов в станках с позиционными системами ЧПУ, к приводу подач предъявляются требования высокого быстродействия и обеспечения значительных скоростей перемещения при малой дискретности.

Контурное управление характеризуется перемещением органов станка по заданной траектории и с заданной скоростью для получения необходимого контура детали. Контурное управление подразделяется на контурные прямоугольные системы ЧПУ, контурные криволинейные системы ЧПУ и синхронные системы ЧПУ.

Контурные прямоугольные системы ЧПУ используют в станках, у которых обработка проводится лишь при движении по одной координате и обрабатываемая поверхность параллельна направляющим данной координаты. В большинстве станков применяют прямоугольные координаты, поэтому такие системы получили название прямоугольных. В этих системах, как и в позиционных, программируются конечные координаты перемещения. Однако в программе задается скорость движения в соответствии с требуемым режимом резания, и перемещение выполняется поочередно по каждой из координатных осей. В этих системах отставание или опережение (рассогласование) по скорости относительно запрограммированного значения непосредственно не вызывает погрешности обработки, так как инструмент продолжает движение по заданной траектории. Возникает лишь нарушение расчетного режима резания и связанное с этим незначительное изменение шероховатости обрабатываемой поверхности и упругих деформаций системы станок - деталь. Прямоугольные системы управления используют в станках фрезерной, токарной и шлифовальной групп.

Контурные криволинейные системы ЧПУ применяют в станках многих групп. Они обеспечивают формообразование при обработке в

результате одновременного согласованного движения по нескольким управляемым координатам. Программу движения исполняемых органов по отдельным координатам при контурной и объемной обработках рассчитывают, исходя из заданной формы обрабатываемой поверхности детали и результирующей скорости движения, определяемой режимом резания. Рассогласование привода подач может привести к ошибке обработки контура. Контурные системы являются наиболее сложными как с точки зрения алгоритма работы УЧПУ, так и с точки зрения требований, предъявляемых к приводу подач.

Разновидностью контурных систем ЧПУ являются синхронные системы, применяемые в основном в зубообрабатывающих станках. УЧПУ задает постоянное соотношение скоростей по двум или большему числу координатных осей станка, а формообразование обеспечивается благодаря конфигурации инструмента. Соотношение скоростей движения по осям задается программой и сохраняется на все время обработки заготовки данной детали. В большинстве случаев требуется не только обеспечить определенное соотношение средних скоростей движения по координатам, но и сохранить определенное рассогласование в приводах координат. Одна из координат станка (обычно главный привод) служит задающей и на ней устанавливают измерительный преобразователь (датчик). Такая система входит как составной элемент в УЧПУ токарно-винторезных станков для обеспечения режима нарезания резьбы.

Универсальное управление сочетает в себе принципы позиционного и контурного, позволяет осуществлять позиционирование и движение рабочих органов станка по заданной траектории. Такое управление наиболее эффективно для многооперационных и многоцелевых станков.

По числу потоков информации системы могут быть [25]:

1. Разомкнутые (один поток от ЧПУ к станку). Основное преимущество такой системы – простота.
2. Замкнутые (два потока от ЧПУ к станку) и наоборот (датчики положения скорости). Основное преимущество - более точное перемещение исполнительных органов.
3. Адаптивные (самонастраивающиеся) системы. Представляют собой управление, при котором обеспечивается автоматическое приспособление процесса к изменяющимся условиям обработки по

определенным критериям. Они помимо основного потока информации имеют дополнительные, позволяющие корректировать процесс обработки с учетом деформации технологической системы, затупления режущего инструмента, колебания припуска и твердости заготовок и др.

По способу реализации системы ЧПУ укрупненно можно классифицировать следующим образом: системы с аппаратной реализацией алгоритмов управления; системы, построенные на основе микроконтроллеров; системы, построенные на основе ПЭВМ.

В зависимости от уровня использования средств вычислительной техники, системы ЧПУ классифицируются следующим образом.

1. Системы типа NC (Numerical Control) - числовое программное управление, осуществляющее адресование команд, расчет некоторых элементов геометрии детали, интерполяцию промежуточных точек по опорным, реализацию типовых циклов по жестко заданным алгоритмам, реализованным аппаратным способом. Информация в систему ЧПУ типа NC вводится с управляющей программы кадрами (порциями).

2. Системы типа MNC (Memory NC) или SNC (Stored NC) - агрегатно-блочные системы ЧПУ типа NC, оснащенные дополнительным блоком оперативной памяти, позволяющим хранить информацию об управляющей программе. Программа в устройство ЧПУ вводится сразу, проверяется, а затем выдается для обработки кадрами. Преимуществом системы типа MNC, по сравнению с системой типа NC, является высокая надежность в работе, т. к. необходимость в использовании сложного фотосчитывающего устройства для каждого кадра программы не требуется.

3. Системы типа HNC (Hand NC) - с ручным заданием управляющей программы на пульте управления. Преимущество таких систем по сравнению с системами типа MNC - отсутствие необходимости подготовки УП (управляющей программы) технологом-программистов.

4. Системы типа CNC (Computer NC) - системы управления со встроенными одной или несколькими микроЭВМ (микропроцессорами) и с программной реализацией алгоритмов, которые записываются в постоянное запоминающее устройство при изготовлении устройства ЧПУ. Системы типа CNC имеют

возможность формировать типовые циклы обработки применительно к различным технологическим задачам. Программно-математическое обеспечение для реализации этой возможности хранится в постоянно перепрограммируемом запоминающем устройстве. Системы CNC позволяют программировать логику работы электроавтоматики силового оборудования станка.

5. Система DNC (Direct Numerical Control) – система, управляющая группой станков от одной ЭВМ, имеющая общую память для хранения программ, распределяемых по запросам от станков. Такие УЧПУ являются устройствами высшего ранга и служат для организации согласованной работы технологических объектов, включенных в комплекс, например в ГПС (гибкие производственные системы).

6. Система PCNC (Personal Computer NC) – системы управления, появившиеся в последнее время и построенные на основе персонального компьютера в индустриальном исполнении, основное отличие которых заключается в ударо- и виброзащищенном исполнении, а также в наличии специальной интерфейсной платы, обеспечивающей сопряжение ПЭВМ с приводами, датчиками, электроавтоматикой станка. Такое построение позволяет удешевить систему ЧПУ, легко ее адаптировать к различным по функциональному назначению станкам путем коррекции соответствующего программного обеспечения. Все это позволяет легко модернизировать устаревшие системы ЧПУ NC, MNC, SNC, HNC, CNC, DNC до PCNC, что в ряде случаев успешно выполняется (при условии удовлетворительных точностных характеристик модернизируемого оборудования).

7. STEP-NC (пошаговая система управления), разрабатываемая в последнее время система ЧПУ. Построена на основе систем PCNC, ее основная идея – исключить участие человека в подготовке к процессу обработки. В состав программного обеспечения такой системы обязательно входят пакеты CAD, CAPP, CAM. Функционирование осуществляется по шагам:

1. Система CAD обеспечивает автоматизацию разработки чертежа обрабатываемой детали и подготовку геометрической и технологической информации к передаче в CAPP и системы CAM.

2. Система CAPP определяет технологию обработки заготовки детали на оборудовании (устанавливает способы обработки,

назначает режимы, устанавливается режущий и вспомогательный инструменты, устанавливает последовательность и состав переходов обработки).

3. Система САМ осуществляет по результатам предыдущих шагов расчет траектории перемещений инструмента, определение последовательности событий управления приводами и электроавтоматикой станка. Обычно результатом работы системы САМ является управляющая программа (УП), которая в дальнейшем отрабатывается оборудованием (это позволяет легко модернизировать существующие системы DNC и PCNC до STEP-NC), однако в настоящее время выполняется проектирование систем САМ, непосредственно управляющих СЧПУ станком без формирования УП.

## ГЛАВА 2. УСТРОЙСТВО СТАНКОВ С ЧПУ

### 2.1. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

#### 2.1.1. Структура системы УЧПУ, построенной на основе ПЭВМ

Структурная схема СЧПУ класса PCNC может быть рассмотрена на примере широко распространенной системы NC-201 российского производства [1]. Рассматриваема система представляет собой индустриальный компьютер, построенный на основе AMD 5x86-133 процессора. Внешний вид пульта управления такой системы показан на рис. 2.1.

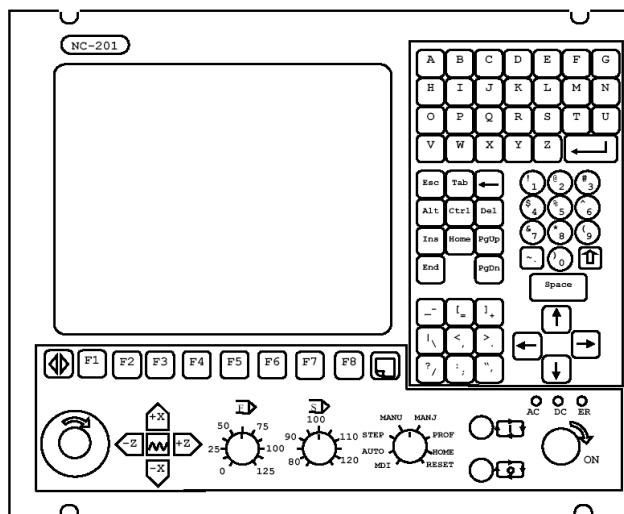


Рис. 2.1. Лицевая панель пульта оператора системы NC-201

Устройство с числовым программным управлением (УЧПУ) является программно-управляемым устройством, имеет аппаратную и программную части. Структурная схема УЧПУ представлена на рис. 2.2. Структура УЧПУ включает блок управления (БУ), пульт оператора (ПО) и блок питания (БП).

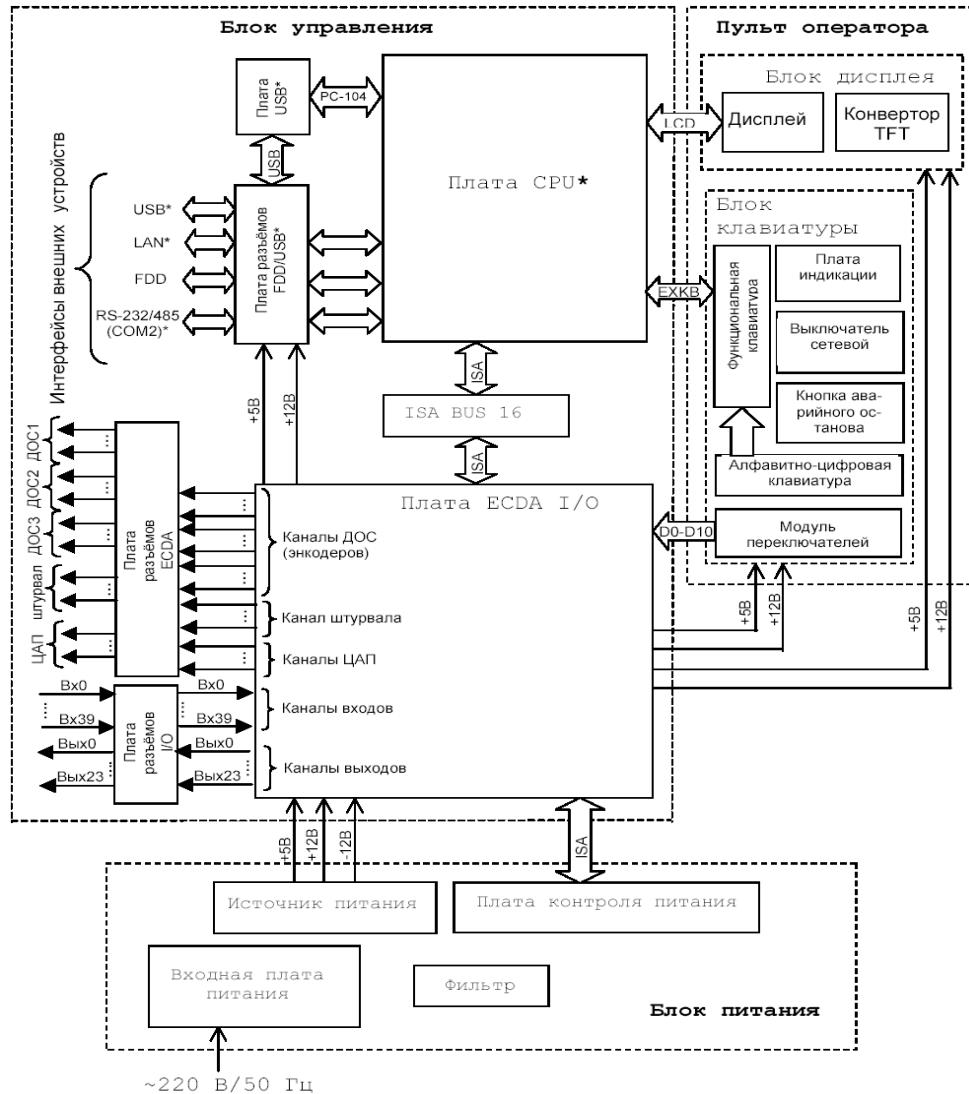


Рис. 2.2. Структурная схема УЧПУ NC-201

БП обеспечивает преобразование первичного сетевого напряжения во вторичные необходимые для работы всех систем СЧПУ с требуемыми электрическими характеристиками.

БУ управляет работой УЧПУ и внешнего подключаемого оборудования. Ядром БУ является плата CPU. Взаимодействие модулей БУ обеспечивают сигналы внешней локальной шины процессора ISA BAS 16.

Через каналы модуля ECDA I/O осуществляется управление периферийным оборудованием:

- следящим электроприводом подач и главного движения с обратной связью;
- преобразователями перемещений фотоэлектрического типа (энкодерами);

- шпинделем;
- электронным штурвалом фотоэлектрического типа.

По каналам входа/выхода модуль ECDA I/O обеспечивает двунаправленную связь (опрос/управляющее воздействие) между УЧПУ и электрооборудованием управляемого объекта. Обмен информацией происходит под управлением программного обеспечения.

Управление дополнительными устройствами ввода/вывода производится платой CPU через интерфейсы внешних устройств: RS-232/485, FDD, LAN, USB.

ПО обеспечивает выполнение всех функций управления и контроля в системе «ОПЕРАТОР-УЧПУ-ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ». Структура ПО включает в себя блок дисплея и блок клавиатуры.

В качестве элементов управления ПО используются клавиши, кнопки и переключатели, а в качестве элементов контроля – дисплей и светодиоды. Эти элементы позволяют оператору управлять работой системы, вести с ней активный диалог, получать необходимую информацию о ходе управления объектом.

Связь УЧПУ с объектом управления и дополнительными устройствами ввода/вывода осуществляется через внешние разъёмы.

### **2.1.2. Система ЧПУ фирмы Fanuc**

Компания GE Fanuc Automation – лидер в области поставки новейших высокоеффективных устройств с ЧПУ и соответствующего оборудования для станкостроения. Компания GE Fanuc Automation выпускает ЧПУ открытого и традиционного типов, которые увеличивают производительность станков путем обеспечения возможности доступа к информационным и программным средствам в самом станке. Системы ЧПУ компании GE Fanuc рассчитаны на такой широкий спектр операций, как шлифование, сверление, резка, фрезерование, перфорирование, токарная обработка и прочее.

Благодаря высоким эксплуатационным характеристикам и надежности, ЧПУ традиционного типа обслуживают самые разные станочные системы по всему миру. Встроенная в блок миниатюрная печатная плата ЧПУ позволяет полностью использовать возможности самых современных больших интегральных схем (БИС) и технологий поверхностного монтажа. Плата монтируется за

жидкокристаллическим дисплеем. СЧПУ включает также высокоскоростную сервошину последовательного действия и компактный распределляемый модуль ввода-вывода, что позволяет подключать один блок управления ЧПУ и сразу несколько сервоусилителей к одному волоконно-оптическому кабелю. Различные модули ввода-вывода могут монтироваться на рабочей панели и на пульте управления станком, что позволяет значительно уменьшить объем электроавтоматики станка и его размеры (рис. 2.3).



Рис. 2.3. СЧПУ Fanuc CNC

Весь спектр ЧПУ открытого типа компании GE Fanuc представлен сериями 160i, 180i, 210i and 160is, 180is, 210is, разработанными на базе 16i, 18i и 21i серий. ЧПУ открытого типа обеспечивают высокоэффективную реализацию функций управления ЧПУ компании GE Fanuc одновременно с функциями персонального компьютера и возможностью их дальнейшего расширения. Устройство ЧПУ и станок могут управляться с помощью графического пользовательского интерфейса персонального компьютера. Кроме того, сетевые возможности могут быть использованы для обмена информацией, а программные средства и базы данных - для управления сервисными программами. Программное обеспечение компании GE Fanuc (библиотека CNC) используется для ввода-вывода внутренней информации ЧПУ. Такое программное обеспечение может поддерживать стандартный набор языков программирования Microsoft (Visual Basic или Visual C++TM), а также интерфейс OLE/DDE.

### 2.1.3. Система ЧПУ фирмы Siemens

СЧПУ фирмы Siemens являются высококачественными системами управления для обрабатывающих станков. ЧПУ Siemens представлены такими сериями: SINUMERIK 802D, SINUMERIK 810D, SINUMERIK 840D(рис. 2.4).



Рис. 2.4. СЧПУ фирмы Siemens

СЧПУ фирмы Siemens представляют собой целостный комплекс взаимодействующих компонентов: устройство ЧПУ — управляющее ядро системы, компоненты управления для общения оператора с системой, контролирующий электроавтоматику, силовые исполнители: привода и двигатели в различных исполнениях в зависимости от задач, обратные связи измерительных систем, соединительные силовые и сигнальные кабели и программное обеспечение: системное, операторское, ввода в эксплуатацию, администрирования и информационного обмена.

Фирма Siemens разработала две группы УЧПУ:

- Семейство SINUMERIK 802C, 802S, 802D, которое ориентировано на применение в простых токарных и фрезерных станках. Эти УЧПУ ограничены по количеству осей и имеют оптимальные функциональные возможности, соответствующие их назначению.
- Семейство SINUMERIK 810D, 840D. SINUMERIK 810D – для станков с небольшими рабочими усилиями. SINUMERIK 840D –

наиболее распространенное базовое модульное УЧПУ для широкого круга станков и технологических задач.

## 2.2. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА ПРИВОДОВ

### 2.2.1. Классификация приводов

Приводы станков с ЧПУ классифицируются по назначению и принципу работы (основные признаки), по типам двигателей, видам схем управления, месту установки и дополнительным признакам. По назначению выделяют приводы главного движения, подачи и вспомогательных механизмов [25].

Одно из движений, осуществляемых в процессе резания и требующее основные энергетические затраты, называют главным. Привод, реализующий это движение, называется приводом главного движения.

Движения, осуществляемые в процессе резания, служащие для взаимного перемещения инструмента и заготовки и требующие меньших (по сравнению с главным движением) затрат энергии, называются движениями подачи. Приводы, реализующие эти движения, называются приводами подачи. Так, в сверлильных станках главным движением является вращение сверла, а движением подачи – перемещение пиноли.

Приводы, реализующие движения, имеющие вспомогательный характер (например, в зажимных приспособлениях, загрузочных устройствах, насосах, магнитных сепараторах и т. д.), называются приводами вспомогательных механизмов.

По принципу работы приводы бывают электрические, электромеханические, гидравлические и электрогидравлические.

Электрическим приводом называется устройство, преобразующее электрическую энергию в механическую и управляющее параметрами сформированного при этом движения. Основным элементом электропривода является электрический двигатель, в котором и происходит преобразование энергии. Управление параметрами движения осуществляют с помощью преобразователя основного управляющего параметра, датчика обратной связи, задающего устройства, устройства защиты и т. д.

На настоящий момент можно выделить несколько типов электроприводов для станочного оборудования: частотно-регулируемый электропривод с асинхронным двигателем, вентильный сервопривод (синхронный двигатель на постоянных магнитах со специализированным частотным преобразователем) и шаговый электропривод с электрическим дроблением шага.

Преобразователи являются звенями системы электропривода, в которых происходит изменение параметров тока или напряжения, т. е. преобразователь трансформирует электрическую энергию с одними параметрами в электрическую энергию с другими параметрами. Так, у преобразователя переменного тока в постоянный на входе переменный ток, а на выходе постоянный.

Шаговые двигатели в приводах станков с ЧПУ используются чаще всего в комплекте с гидроусилителем момента. Достоинством шагового электропривода является отсутствие обратной связи по пути, что упрощает систему управления в целом, но при этом снижает надежность привода.

В практике создания и эксплуатации станков с ЧПУ находят применение также силовые шаговые двигатели, не требующие промежуточного гидроусилителя, всевозможные линейные электроприводы, в том числе шаговые.

Наряду с электродвигателем и преобразователем в состав привода входят и механические передачи.

Механическая передача — часть системы привода, заключенная между выходным звеном источника движения (например, выходным валом электродвигателя или штоком гидроцилиндра) и звеном потребления механической энергии и предназначенная для кинематического преобразования движения на этом пути. Под кинематическим преобразованием понимают изменение направления усилия и скорости при линейном перемещении или изменение плоскости поворота при вращательном движении.

Основные функции механических передач: распределение энергии (от одного источника движения) между различными звеньями ее потребления; совмещение энергии, поступающей от различных источников движения, и подведение ее к одному звену потребления; понижение или повышение скорости при одновременном повышении или понижении усилий или вращающих моментов; ограничение скорости или вращающего момента;

регулирование скорости; преобразование вида движения (вращательного в поступательное); изменение направления оси вращения и т. д.

В перспективе механические передачи в приводе станков будут играть менее значительную роль, так как их функции можно будет реализовывать с помощью электрических или гидроэлектрических устройств. Однако в настоящее время, несмотря на переход к электрическим способам управления движениями, механические передачи находят применение в станках с ЧПУ, что объясняется их простотой и надежностью.

Для передачи вращательного движения используют ременные, зубчатые и червячные передачи, а для преобразования вращательного движения в поступательное – зубчато-реечные и винтовые.

В большинстве приводов станков с ЧПУ для преобразования вращательного движения в поступательное применяют передачу «винт – гайка качения» (рис. 2.5). В корпусе передачи, помимо гайки, помещены шарики, которые перемещаются между гайкой и винтом по замкнутому контуру и позволяют затянуть гайку так, чтобы исключить зазор в передаче. Затягивание при отсутствии шариков создало бы силу трения, препятствующую повороту винта.

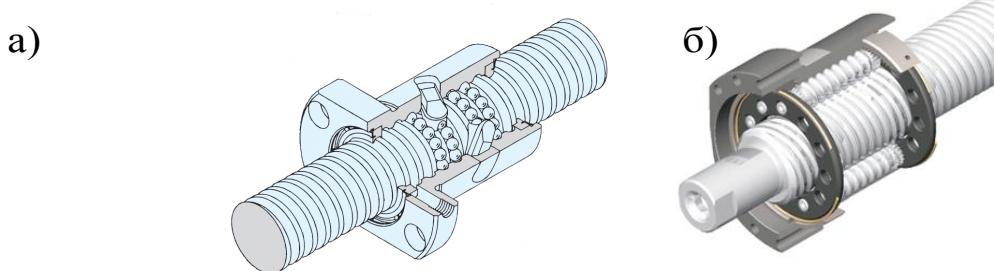


Рис. 2.5. Передача винт-гайка качения: а – шариковая; б - роликовая

В шариковой передаче шарики циркулируют с возвратом, потери в этой передаче невелики, однако для обеспечения равномерного натяга по длине и исключения зазоров она должна быть выполнена с высокой точностью.

Также в станках с ЧПУ находят применение муфты, электромагнитные фрикционные муфты и тормоза, зубчатые передачи и редукторы (рис. 2.6) [2].

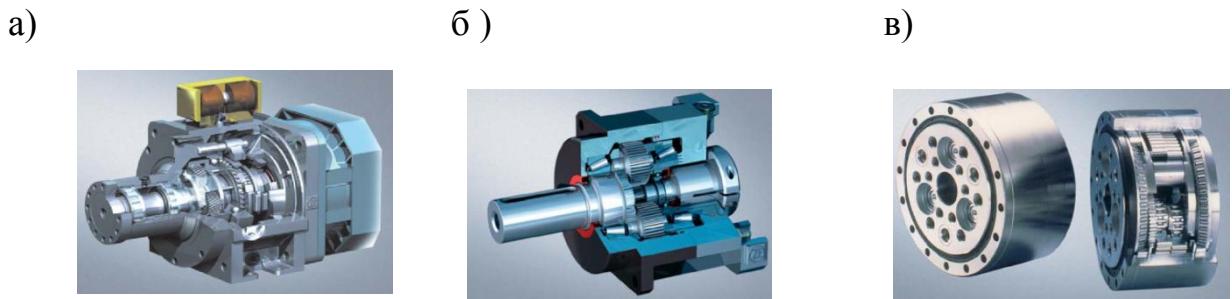


Рис. 2.6. Редукторы, используемые в станках с ЧПУ: а, б – планетарные; в – циклоидальные

### 2.2.2. Приводы главного движения

Приводы главного движения и подачи в станках с ЧПУ предназначены для обеспечения процесса съема металла с максимальной производительностью при заданных точности и качестве обработки.

В приводах главного движения иногда возникает необходимость точно и быстро остановить двигатель, например, точно остановить шпиндель токарного станка для автоматической выгрузки изделия и загрузки новой заготовки или точно остановить резец алмазно-расточного станка напротив шпоночного паза растачиваемого отверстия для вывода резца из отверстия. В этом случае, кроме увеличения диапазона регулирования, используют датчики нулевого положения, либо привод выполняется следящим.

Для увеличения надежности и долговечности механизмов привода следует решать задачу обеспечения безударности его пуска и торможения.

В некоторых станках, например, токарно-винторезных, необходимо обеспечить возможность синхронного движения рабочих органов главного движения и подачи. Для этого на главном приводе устанавливается круговой импульсный датчик.

Регулирование частоты вращения привода главного движения может быть ступенчатым, бесступенчатым и комбинированным.

Ступенчатое регулирование явилось исторически первым способом изменения частоты вращения шпинделя станка и было обусловлено следующими факторами: изначально станки с ЧПУ проектировались на основе аналогичного универсального оборудования, имеющего регулирование частоты вращения с

помощью коробки скоростей; отсутствие электронной элементной базы, позволяющей реализовать идею бесступенчатого регулирования частоты вращения мощного электродвигателя при сохранении постоянства вращающего момента в широком диапазоне частот.

Ступенчатое регулирование имеет следующие преимущества – двигатель главного движения вращается с постоянной оптимальной скоростью, обеспечивая максимальный рабочий момент; применение асинхронного электродвигателя позволяет отказаться от преобразователя, что упрощает электрическую схему. Недостатки такого привода: требуется наличие сложных автоматических механических устройств изменения частоты вращения, торможения.

Ступенчатое регулирование в большом диапазоне осуществляется с помощью:

- многоваловых коробок (число ступеней до 24; диапазон регулирования и мощность не ограничиваются);
- ступенчато-шкивных передач с одинарным или двойным перебором (число ступеней до 12; диапазон регулирования до 30);
- многоскоростных асинхронных двигателей в сочетании с многоваловыми коробками передач.

Автоматическое переключение скоростей в передачах осуществляется с помощью электромагнитных фрикционных муфт.

Такие системы регулирования имеют следующие существенные недостатки: невозможность в процессе обработки поддерживать оптимальные режимы резания, высокая кинематическая сложность коробки скоростей, смена частоты вращения требует останова шпинделя, низкая надежность и недолговечность электромагнитных фрикционных муфт.

Появление соответствующей электронной базы привело к созданию привода с комбинированным способом регулирования: частота вращения вала электродвигателя изменяется в ограниченном диапазоне при помощи электронных преобразователей. Расширение диапазона регулирования до требуемого при обработке осуществляется при помощи простых (обычно трехступенчатых) коробок скоростей. Такой привод позволяет оптимизировать режимы резания при обработке, поддерживать постоянную скорость резания, однако при переходе с одного диапазона частот вращения к другому требует остановки процесса обработки, а в ряде станков такой

переход осуществляется вручную, например 16А20Ф3.

Появление новых синхронных и асинхронных двигателей, обеспечивающих постоянство крутящего момента в широком диапазоне частот вращения (синхронные переменного тока - рабочая частота вращения до 40 000 об/мин, асинхронные - до 12 000 об/мин), позволило полностью отказаться от коробки скоростей, а в ряде случаев и от всех механических передач в цепи главного движения, и результатом явилась разработка мотор-шпинделей (непосредственно шпиндель станка является одновременно и ротором электродвигателя). С целью снижения влияния тепловыделения двигателя на шпиндель станка используется жидкостное охлаждение электродвигателя.

В качестве таких двигателей могут быть использованы асинхронные электродвигатели 1PH2 фирмы «Сименс» (рис. 2.7) [2]. Встраиваемые двигатели 1PH2 используются на станках с повышенными требованиями к качеству обработки, точности и плавности хода (токарные станки, шлифовальные станки).

Преимущества от использования:

- компактная конструкция, благодаря удалению механических компонентов: балансира двигателя, ременной передачи, редукторной коробки и шпиндельного датчика;
- высокая удельная мощность, благодаря жидкостному охлаждению;



Рис. 2.7. Фотография асинхронного встраиваемого электродвигателя 1PH2 Siemens

- высочайшая точность обработки вследствие спокойного, точного вращения шпинделя на малых оборотах, так как нет воздействия поперечных усилий привода;
- ускоренный разгон и торможение;
- полный номинальный момент вращения доступен во всем диапазоне частот вращения;

- повышенная жесткость шпиндельного привода, благодаря монтажу компонентов двигателя между главными подшипниками шпинделя;
- низкий уровень шума, благодаря удалению многих ранее используемых элементов станка;
- передача момента вращения на шпиндель происходит без зазора и с силовым замыканием через цилиндрическую ступенчатую прессовую посадку.

Ротор монтируется на шпиндель термическойстыковкой. Прессовое соединение может быть разъединено гидравлическим методом без нарушениястыкуемых поверхностей.

Находят применение и синхронные электродвигатели (рис. 2.8).

Преимущества использования встраиваемого синхронного двигателя аналогичны преимуществам применения асинхронного, однако он имеет ряд дополнительных положительных сторон:

- максимальная частота вращения до 40 000 об/мин;
- ротор остается холодным вследствие возбуждения постоянными магнитами, как следствие - значительное уменьшение потерь мощности в роторе и меньший нагрев подшипников;
- требуется меньший теплоотвод при той же мощности по сравнению с 1PH2, т. е. увеличение КПД;



Рис. 2.8. Фотография встраиваемого синхронного электродвигателя модели 1FE1 Siemens

- необходим только один датчик (измерительная система полого вала) для определения скорости и положения шпинделя;
- увеличение производительности станка: мотор-шпиндель с возбуждением постоянными магнитами увеличивают удельную мощность и рентабельность станков с ЧПУ.

Синхронные встраиваемые двигатели с жидкостным охлаждением 1FE1 используются там, где предъявляются повышенные требования к качеству обработки, точности, плавности хода, а также требуется наименьшее время разгона.

Основной недостаток синхронных двигателей – невозможность эксплуатации без специального частотно-импульсного преобразователя.

Структурная схема управления главным приводом с синхронным электродвигателем (рис. 2.9) предусматривает бестрансформаторное питание и рекуперирование энергии при торможении [25].

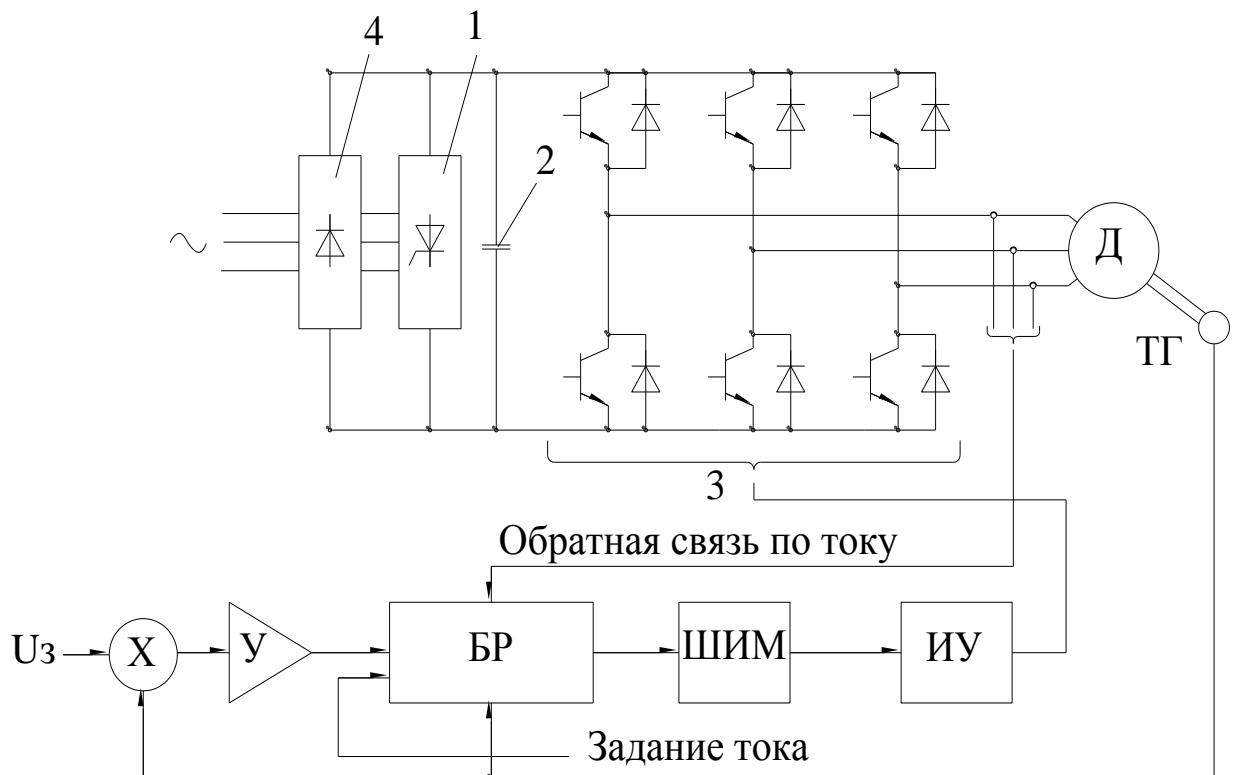


Рис. 2.9. Структурная схема управления главным приводом с двигателем переменного тока:  $\mathcal{D}$  — синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов;  $TG$  — тахогенератор;  $ШИМ$  — блок широкоимпульсной модуляции;  $ИУ$  — импульсный усилитель;  $Us$  — задание скорости;  $БР$  — блок регулятора;  $Y$  — усилитель;  $1$  — цепь рекуперативного торможения;  $2$  — конденсатор;  $3$  — высоковольтные транзисторы с шунтирующими диодами;  $4$  — выпрямитель

Данный привод обеспечивает постоянную мощность на валу двигателя в достаточно широком диапазоне частот вращения. Двигатели, благодаря их высокой частоте вращения, позволяют использовать понижающую передачу с большим отношением.

Транзисторный блок управления в сочетании с вентильным блоком рекуперации работает так, что при торможении энергия возвращается в питающую сеть переменного тока. Это позволяет реализовать высокую частоту чередования ускорения и замедления и обеспечить высокое качество процесса торможения. Электронный блок регулятора тока позволяет уменьшить вибрации и шум во всем диапазоне частот вращения, а введение в схему управления главным приводом датчика угла поворота обеспечивает ориентацию шпинделя и остановку его в фиксированном положении, что необходимо в станках с автоматической сменой инструмента.

### **2.2.3. Следящие приводы подач**

Привод подач – один из основных узлов, определяющих производительность и точность станка с ЧПУ. Поскольку УЧПУ практически безынерционно формирует сигналы управления приводом, обеспечивающие движение по заданной траектории или позиционирование в заданной координате, большое значение приобретает совершенствование параметров исполнительного двигателя и схемы управления им с учетом особенностей кинематической цепи привода.

По мере совершенствования СЧПУ, увеличения жесткости и точности узлов станка, повышаются требования к быстродействию и точности привода подач: скорость быстрых перемещений в современных станках доведена до 50 м/мин, а дискретность перемещений – до 1 нм.

Указанным требованиям удовлетворяют приводы и двигатели, разработанные специально для станков с ЧПУ. Высокими показателями характеризуется тиристорный привод с низкоскоростным высокомоментным двигателем постоянного тока и возбуждением от высокоэнергетических магнитов (рис. 2.10). Двигатель имеет большой момент инерции, обеспечивает хорошие динамические характеристики, полученные в результате использования (для возбуждения) высокоэнергетических керамических магнитов, выдерживающих 10-15-кратные пиковые моменты без размагничивания. Значительная масса и теплоемкость ротора позволяют достаточно долго (до 30 мин) выдерживать значительные перегрузки.

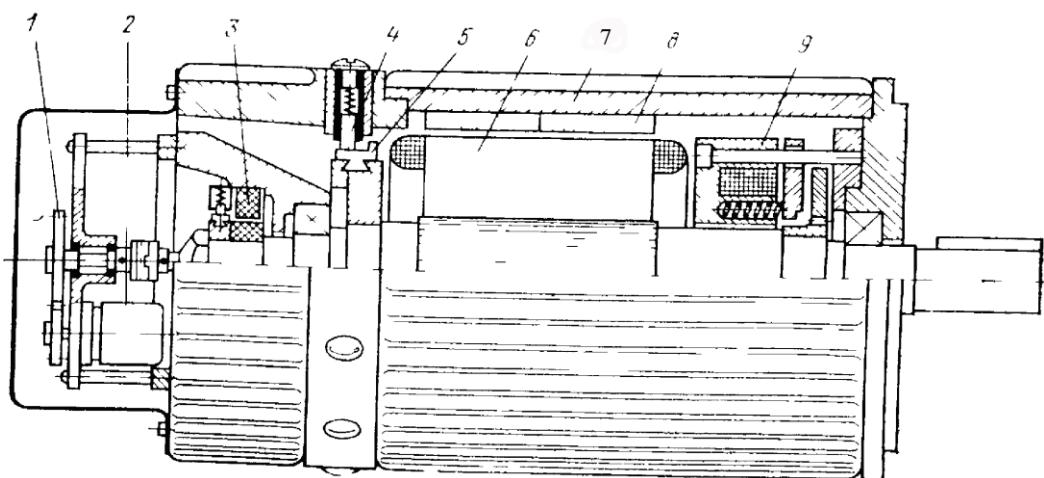


Рис. 2.10. Конструктивная схема высокомоментного двигателя: 1 — повышающая передача (мультипликатор); 2 — резольвер; 3 — тахогенератор; 4, 5 — коллекторы; 6 - ротор; 7 — корпус статора; 8 — ферритовые полюсы; 9 — электромагнитный тормоз

В приводах с высокомоментными двигателями во многих случаях исключена необходимость в редукторе или значительно упростились его конструкция, что уменьшило динамическую нагрузку приводного механизма и ее влияние на переходные процессы. Высокий КПД современных винтовых передач и направляющих обеспечивает ускоренные перемещения при крутящем моменте привода, равном 15-20 % от номинального крутящего момента, необходимого для процесса резания. В то же время, резание с большими усилиями возможно лишь при скорости, равной 15-20 % от скорости быстрого перемещения. Эти особенности и определяют специфику создания привода подач станков.

Однако, несмотря на все свои достоинства, высокомоментный двигатель постоянного тока не используется в современных станках. Это обусловлено наличием коллекторных узлов в конструкции двигателя. Являясь ненадежным и быстро изнашиваемым узлом, коллектор приводит к частым отказам привода. Вследствие этого, наибольшее распространение в современных приводах получили синхронные электродвигатели. Они обладают удовлетворительными характеристиками, и в их конструкции полностью отсутствует коллектор, т. к. ротор такого двигателя выполнен из высокоэнергетических магнитов, а обмотки расположены в неподвижном статоре.

Следящий привод имеет, как минимум, два датчика обратной связи – по скорости (тахогенератор) и по пути. Тахогенератор всегда устанавливают на вал двигателя подачи, при этом часто встраивают непосредственно в двигатель. Что касается датчика обратной связи по пути, то существуют три варианта его установки, в зависимости от которых различают и структурные схемы следящих приводов (рис. 2.11).

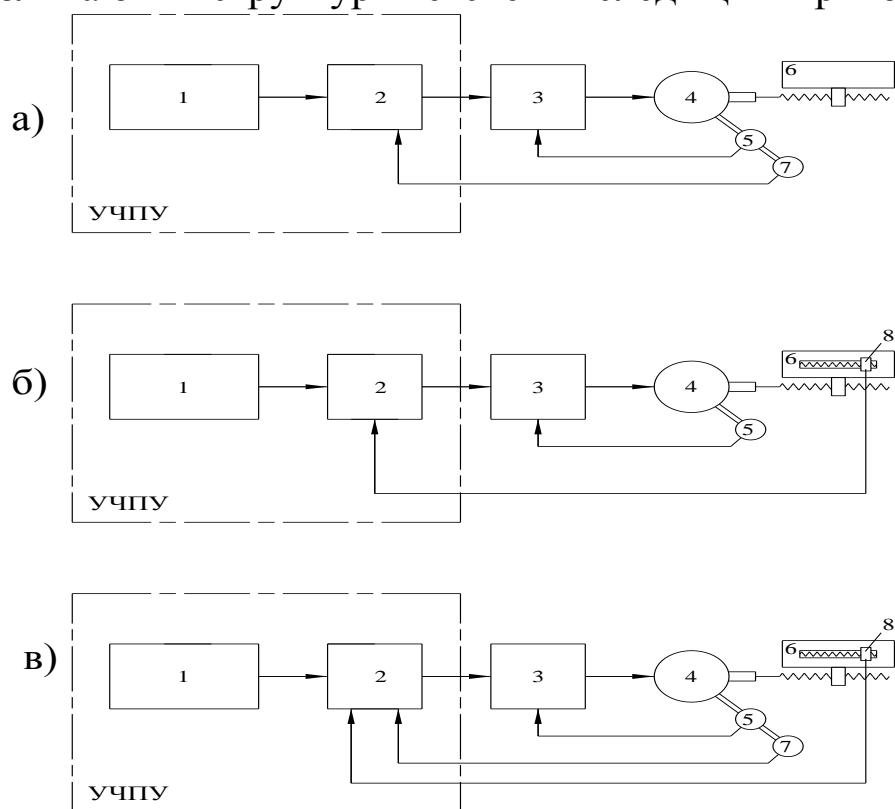


Рис. 2.11. Структурные схемы следящих приводов: а — с полузамкнутым контуром обратной связи по пути; б — то же с замкнутым контуром; в — с гибридной схемой обратной связи; 1 — основной блок УЧПУ; 2 — узел управления приводом; 3 — блок привода; 4 — двигатель подачи; 5 — тахогенератор; 6 — стол станка; 7 — круговой датчик обратной связи по пути; 8 — линейный датчик обратной связи по пути

В станках нормальной точности датчик обратной связи по пути выполняют круговым и устанавливают на ходовой винт или на вал двигателя (рис. 2.11 (а)); поскольку пара винт—гайка не охвачена обратной связью, погрешности этой пары переносятся на изделие. Систематическую слагаемую этих погрешностей, повторяющуюся стабильно, можно компенсировать с помощью заранее программируемых корректирующих сигналов. Следящие приводы с такой структурной схемой, называемой схемой с полузамкнутым

контуром обратной связи по положению, обеспечивают точность позиционирования  $\pm 10$  мкм.

В микропроцессорных системах ЧПУ обратные связи по пути замыкаются в УЧПУ, а обратные связи по скорости — в блоке управления приводом. Таким образом, в следящих системах используют регулируемый привод с введением обратной связи по пути.

В прецизионных станках устанавливают на столе станка высокоточный линейный датчик 8 (рис. 2.11 (б)). Такая структурная схема называется замкнутой по положению. При этой схеме зазоры в кинематической цепи и упругие деформации влияют на колебания привода.

Поэтому, в ряде случаев (например, в тяжелых станках) применяют гибридную схему обратной связи (рис. 2.11 (б)), в которой используют два датчика: круговой, установленный на вал двигателя или ходовой винт, и линейный, установленный на стол станка.

При этом круговой датчик используют для позиционирования, а линейный — для автоматической коррекции погрешностей кинематической цепи.

Для уменьшения величины выбега (т. е. пути, который проходит рабочий орган после получения команды на остановку) используют способы интенсивного торможения. Подходить к позиции точной остановки можно лишь на очень низкой скорости. Поэтому между первой (на торможение) и второй (на отключение) командами в позиции точной остановки приходится вводить промежуточную скорость. В цикловых системах управления при одноступенчатом графике позиционирования после получения команды на торможение рабочий орган станка, например координатный стол, может остановиться в любой точке участка, который называется участком разброса тормозного пути при одноступенчатой остановке. Если рабочий орган остановится в начале этого участка, то весь участок придется проходить на ползучей скорости. Чаще всего остановка происходит в середине этого участка и оставшуюся половину проходят на ползучей скорости. По сравнению с одноступенчатым двухступенчатый график (показан жирными линиями на рис. 2.12) позволяет значительно (примерно в три раза) сократить время позиционирования: после получения первой команды (на

торможение) выполняется переход рабочего органа на промежуточную скорость, с которой он перемещается до получения команды на второе торможение; затем скорость снижается до уровня ползучей и рабочий орган попадает на участок, называемый участком разброса тормозного пути при втором торможении.

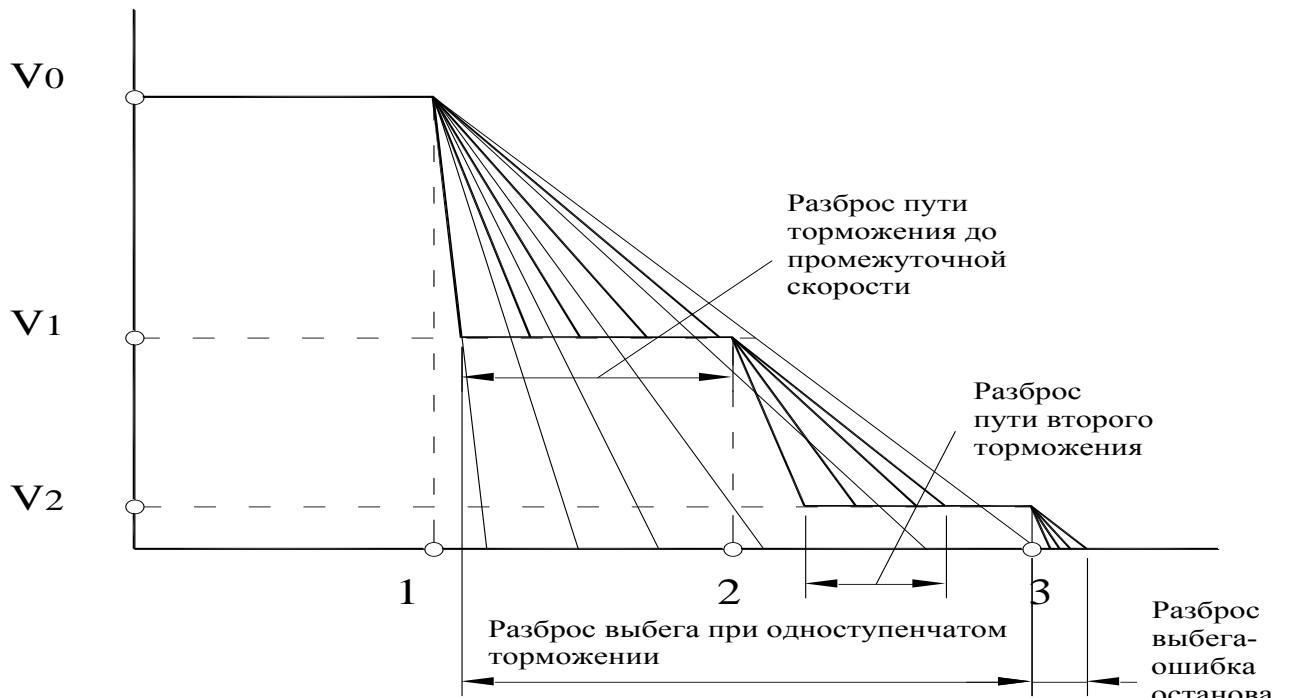


Рис. 2.12. Траектория одноступенчатого и многоступенчатого позиционирования: 1 — команда на торможение; 2 — команда на снижение скорости; 3 — команда на остановку;  $V_0$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  — скорость быстрого хода, промежуточная и ползучая соответственно

Увеличивая число ступеней, переходят к графику с непрерывным позиционированием, который называется «оптимальным» и обеспечивает заданную точность позиционирования при минимальных затратах времени. Осуществление оптимального графика решается в системах ЧПУ со следящим приводом; в этих системах реализуются также двух- и трехступенчатые циклы позиционирования.

## 2.2.4. Дискретные (шаговые) приводы подач

Привод подач с шаговыми двигателями (ШД) можно разделить на группы: привод с силовым ШД, соединенным через кинематическую цепь с исполнительным механизмом; привод с управляющим ШД и промежуточным усилителем момента, выполненным в виде автономной следящей системы (обычно гидравлической); привод с линейным ШД. В первой и третьей группе динамические и статические характеристики привода определяются параметрами ШД, во второй — зависят от параметров следящей системы, которой управляет ШД.

Преимущества шагового привода по сравнению с приводом следящим имеют значение лишь при малых мощностях приводов. К таким преимуществам относятся отсутствие датчика обратной связи по пути и тахогенератора, а также отсутствие коллектора со щетками. Именно это обусловило применение ШД в приводе подач малых токарных и шлифовальных станков, а также для управления различными вспомогательными механизмами (поворот и смещение плансуппортов, резцодержателей и т. п.) станков и гибких производственных модулей.

Современные быстродействующие ШД являются модифицированными синхронными электрическими машинами, обмотки которых возбуждаются несинусоидальными сигналами, т. е. прямоугольными или ступенчатыми импульсами напряжения с изменяющейся в широких пределах частотой. Ступенчатому характеру напряжений на фазах ШД соответствует дискретное вращение электромагнитного поля в воздушном зазоре двигателя. Вследствие этого движение ротора на низкой частоте слагается из последовательности элементарных перемещений, совершаемых по апериодическому или колебательному закону. При возрастании управляющей частоты неравномерность частоты вращения ротора ШД сглаживается.

Шаговые двигатели с электронным коммутатором осуществляют преобразование последовательности управляющих импульсов (унитарного кода) в угол поворота вала. Каждому импульсу управления соответствует поворот вала на фиксированный угол (шаг двигателя), величина которого однозначно определена конструкцией ШД и способом переключения его обмоток. Частота

вращения и суммарный угол поворота вала пропорциональны частоте и числу поданных импульсов управления соответственно. В отличие от синхронных двигателей в ШД переход в синхронное движение из состояния покоя осуществляется без скольжения, а торможение — без выбега ротора. Благодаря этому ШД (в рабочем диапазоне частот) обеспечивают внезапный пуск, остановку и реверсирование без потери информации, т.е. без пропуска.

Отдельную нишу занимают приводы с линейными ШД (рис. 2.13) [2].

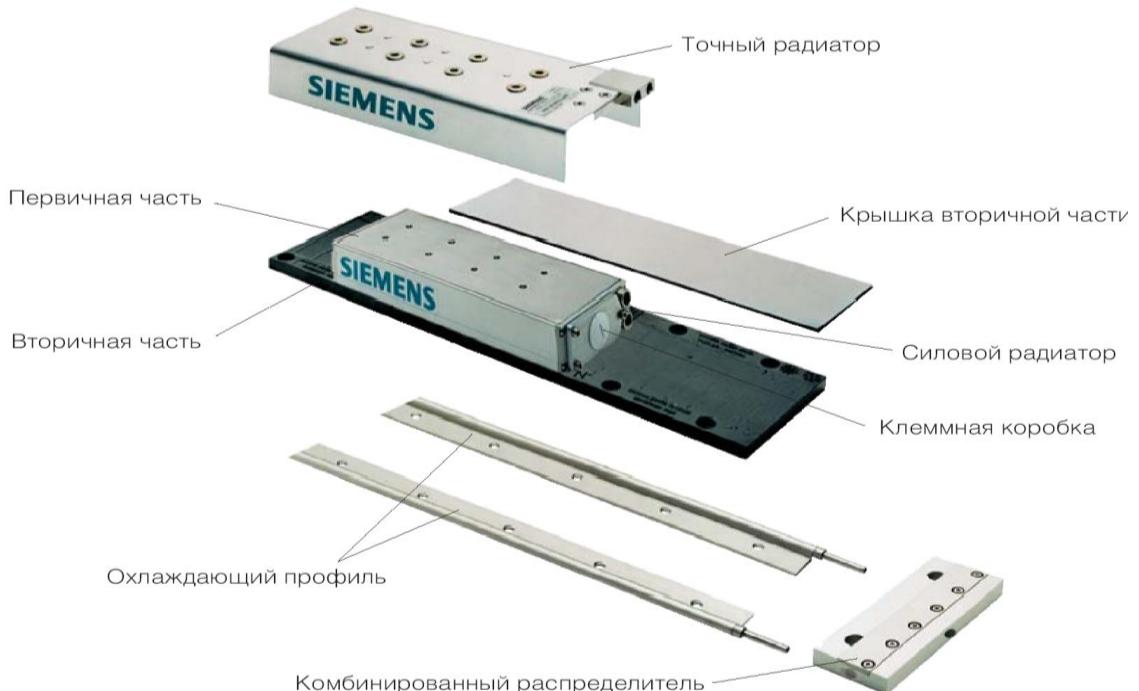


Рис. 2.13. Конструктивное исполнение линейного ШД Siemens

Привод включает в себя первичную часть, представляющую собой статор, и вторичную часть — основание с наклеенными редкоземельными магнитами. Рабочий зазор между первичной и вторичной частями составляет 0,3 мм. В процессе работы на первичную часть подаются управляющие импульсы электрического тока, периодически изменяя намагниченность полюсов статора, которые, взаимодействуя с магнитами вторичной части, вызывают ее линейное смещение в заданном направлении. При этом осуществляется преобразование электрических импульсов в непосредственно линейное перемещение исполнительного органа.

Такой привод имеет следующие преимущества по сравнению с классическим, построенным с использованием шарико-винтовых пар (ШВП) [2]:

- исключительная динамика и наивысшая скорость перемещения (до 500 м/мин);
- высокая точность;
- простой монтаж;
- износостойкость привода, благодаря бесконтактной передаче усилия.

Существенным преимуществом линейной техники прямых приводов является практическое отсутствие эффектов эластичности, люфта и трения, а также собственной вибрации в трансмиссии. Следствием этого является высокая динамика и высокая точность. При использовании соответствующей измерительной системы и соответствующих температурных условий двигатели могут позиционироваться с нанометрической точностью.

Несмотря на все преимущества, привод на основе линейных ШД на данный момент имеет ряд недостатков, сдерживающих его применение:

- ограниченная нагрузочная способность (усилие подачи до 14 кН);
- отсутствие самоторможения при снятии питающего напряжения;
- невысокий КПД;
- высокая стоимость.

Вследствие всего перечисленного линейные ШД находят применение в следующих областях:

- высокоскоростное фрезерование;
- шлифование;
- ультрапрецизионная обработка;
- электроэррозионная обработка;
- лазерная обработка.

## **2.2.5. Привод вспомогательных механизмов**

Привод вспомогательных механизмов может быть гидравлическим, пневматическим, электрическим.

Гидроприводы обеспечивают высокую плавность движения исполнительных механизмов, а также широкий диапазон скорости их перемещения. Гидропривод надежно защищает систему от перегрузок и позволяет механизмам работать по жестким упорам. К недостаткам можно отнести наличие наружных утечек жидкости.

В станках с ЧПУ гидропривод используется для вспомогательных механизмов (револьверных головок, инструментальных магазинов, механизмов автоматической загрузки приспособлений спутников, зажимных устройств).

Гидропривод станков с ЧПУ включает насосы, направляющую гидроаппаратуру, регулирующую гидроаппаратуру, вспомогательные элементы, исполнительные механизмы.

Исполнительными механизмами гидропривода являются объемные гидродвигатели, предназначенные для преобразования энергии потока масла в энергию движения выходного звена гидродвигателя.

По характеру движения выходного звена гидродвигатели делятся на гидроцилиндры (с поступательным движением), поворотные гидродвигатели и гидромоторы (с неограниченным вращательным движением выходного звена). К последним следует отнести и шаговые приводы.

Поворотные гидродвигатели предназначены для вращательных движений на угол до  $270^\circ$ . Двигатели состоят из корпуса, двух крышек, вала с лопастью, неподвижной перегородки, уплотнений и крепежных деталей. Вал установлен на двух подшипниках, расположенных в крышках. Эти двигатели в основном находят применение в промышленных роботах.

В станках с ЧПУ и промышленных роботах, наряду с гидроприводом, применяется и пневмопривод, в котором для приведения в движение механизмов используется сжатый воздух. Пневмопривод обеспечивает высокое быстродействие исполнительных механизмов, имеет небольшие габариты и надежно предохраняет механизмы привода от перегрузки. Ввиду того, что пневмопривод развивает сравнительно небольшие усилия, в станках с ЧПУ его, в основном, используют для автоматизации вспомогательных движений в тех случаях, когда надо обеспечить высокое быстродействие.

Отдельные элементы пневмопривода используются в станках с ЧПУ для подачи сжатого воздуха, для продувки гнезда шпинделя, очистки баз приспособлений и др. Подача сжатого воздуха к пневмоприводу осуществляется от заводской пневмосети, обеспечивающей давление в пределах 0,4-0,6 МПа. В тех случаях, когда требуется более высокое давление сжатого воздуха, а также обеспечение надежной автономной работы оборудования, используются индивидуальные компрессоры.

В качестве исполнительных механизмов в электроприводе вспомогательных движений применяют различные серводвигатели, в том числе и шаговые.

## **2.3. УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНЫ ИНСТРУМЕНТА (АСИ) СТАНКОВ С ЧПУ**

### **2.3.1. Устройства АСИ для станков токарной группы**

На станках с ЧПУ токарной группы наиболее широко применяются многопозиционные револьверные головки (рис. 2.14) [3–5], число инструментов в которых позволяет осуществить полную токарную обработку заготовок. Около 70 % заготовок могут быть обработаны всего восемью инструментами, а при наличии 13 инструментов можно обработать более 95 % заготовок. Револьверные головки применяются четырех-, шести-, восьмипозиционные и с большим числом позиций.

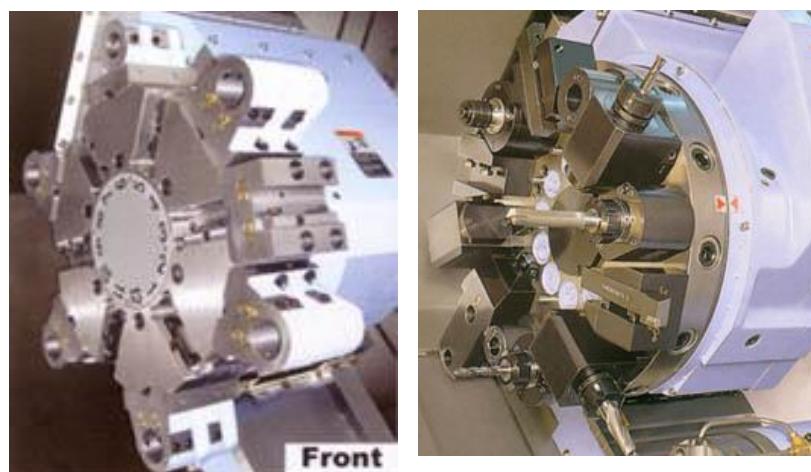


Рис. 2.14. Многопозиционные револьверные головки

Наиболее широко используются восьмипозиционные головки. При оснащении токарных станков двумя независимо программируемыми головками, в обработке заготовок одновременно принимают участие два инструмента.

Револьверные головки применяются с вертикальной, горизонтальной и наклонной осями вращения. Инструменты, как правило, устанавливаются в той последовательности, в какой они используются согласно технологическому процессу. Смена инструмента осуществляется поворотом и фиксацией головки или линейным ее перемещением (в случаях, когда в одной позиции установлено несколько инструментов).

Инструментальный магазин – револьверная головка, и является рабочим органом станка, воспринимающим силы резания, следовательно, к нему предъявляются требования высокой прочности, жесткости и точности позиционирования. Инструменты для обработки внутренних и наружных поверхностей не должны мешать друг другу. Время смены инструмента должно быть минимальным. Замена инструмента должна осуществляться удобно и легко, для чего к нему необходимо обеспечить свободный доступ.

На рис. 2.15 показаны схемы различных вариантов и сочетаний револьверных головок, применяемых на токарных станках с ЧПУ. Изначально на станки устанавливалась револьверная головка, выполненная по аналогии с резцодержателем универсального станка.

В такие четырехпозиционные револьверные головки с осью, перпендикулярной к оси шпинделя (рис. 2.15 (а)), на каждой грани головки может быть установлено несколько инструментов. При этом, можно вести обработку сразу несколькими инструментами.

Попытка увеличить количество позиций револьверных головок привела к созданию 6-, 8-, 10- и 12-позиционных головок с осью, перпендикулярной оси шпинделя станка (рис. 2.15 (б)). В 12-позиционной головке могут быть установлены шесть инструментов для обработки наружных поверхностей и шесть для внутренних.

Дальнейшее совершенствование револьверных головок привело к созданию 8- и 12-позиционных головок с осью, параллельной оси шпинделя (рис. 2.15 (в)), обеспечивающих максимальную точность установки инструмента. Такие головки используются, в основном, на патронно-центровых станках.

Шестипозиционные корончатые револьверные головки показаны на рис. 2.15 (г).

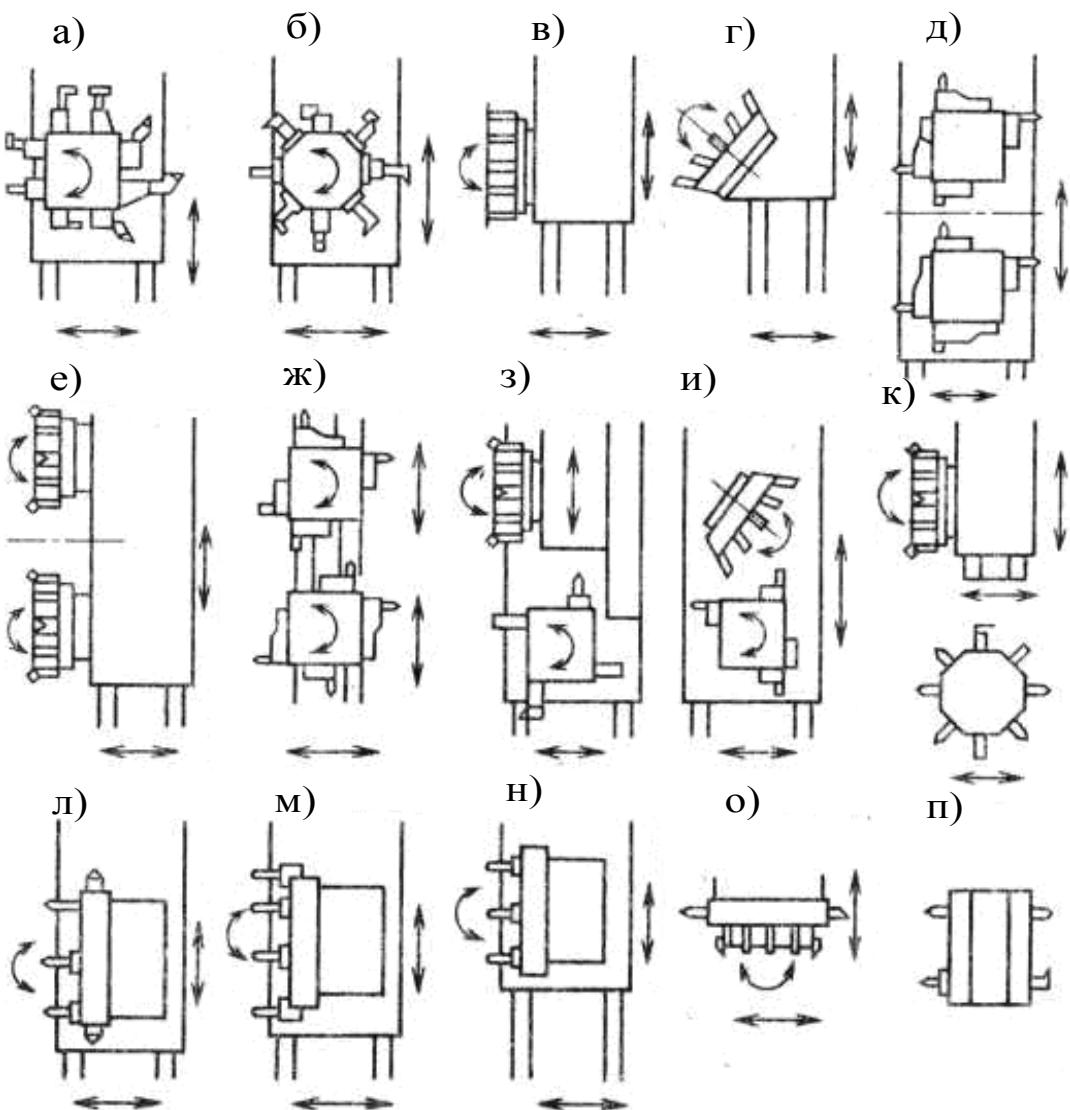


Рис. 2.15. Схемы конструктивного исполнения револьверных головок токарных станков

Дальнейшее стремление увеличить емкость головок привело к установке нескольких инструментальных головок на одной каретке. Две головки 4-, 5- или 6-позиционные с осью вращения, перпендикулярной к оси шпинделя, установленные на одной каретке, показаны на рис. 2.15 (д), а две головки с осью, параллельной этой оси, установленные на одной каретке - на рис. 2.15 (е).

Если допустить возможность независимого перемещения головок по оси, перпендикулярной к шпинделю, то вполне возможно осуществлять обработку сразу нескольких поверхностей. Две головки

(4- или 6-позиционные) с осью, перпендикулярной оси шпинделя, с независимым поперечным перемещением (рис. 2.15 (ж)) обеспечивают одновременную обработку заготовки двумя инструментами. Две головки на общей каретке, одна из которых (с восемью и большим числом позиций) с осью, параллельной оси шпинделя, предназначена в основном для обработки наружных поверхностей, а вторая четырех- или шестипозиционная с осью, перпендикулярной оси шпинделя для внутренних поверхностей, показаны на рис. 2.15 (з). Две головки на одной каретке, одна из которых корончатая, а вторая - с осью, перпендикулярной оси шпинделя, - на рис. 2.15 (и).

На рис. 2.15 (к) показаны две головки с независимым перемещением, одна из которых с осью, параллельной оси шпинделя, а вторая - с осью, перпендикулярной оси шпинделя, предназначены для обработки внутренних поверхностей.

Однако применение таких конструкций с несколькими револьверными головками ведет к значительному усложнению конструкции станка, системы ЧПУ, повышает сложность разработки управляющих программ, а количество поверхностей, допускающих совместную обработку, ограничено.

Значительная часть (70-75 %) обрабатываемых на токарных станках с ЧПУ видов деталей (фланцы, валы, стаканы) требуют и других отличных от токарных методов обработки, к которым относятся сверление, резьбонарезание метчиком, фрезерование боковых поверхностей и канавок. Для сокращения цикла обработки таких деталей их целесообразно полностью обрабатывать на одном станке, что исключает время на переустановку заготовки со станка на станок. Однако, если установить в револьверной головке токарного станка вращающийся инструмент, то заготовки могли быть полностью обработаны на одном станке. Практическая реализация данной идеи привела к созданию револьверных головок с приводными позициями (рис. 2.16).

Показанная на рис. 2.16 головка, вследствие того, что одновременно врачаются сразу все инструменты, имеет ряд существенных недостатков: представляет опасность для оператора и значительные затраты энергии на бесполезное вращение неиспользуемого инструмента. Данные недостатки привели к

созданию револьверных головок, у которых вращается только один задействованный в обработке инструмент (рис. 2.17).

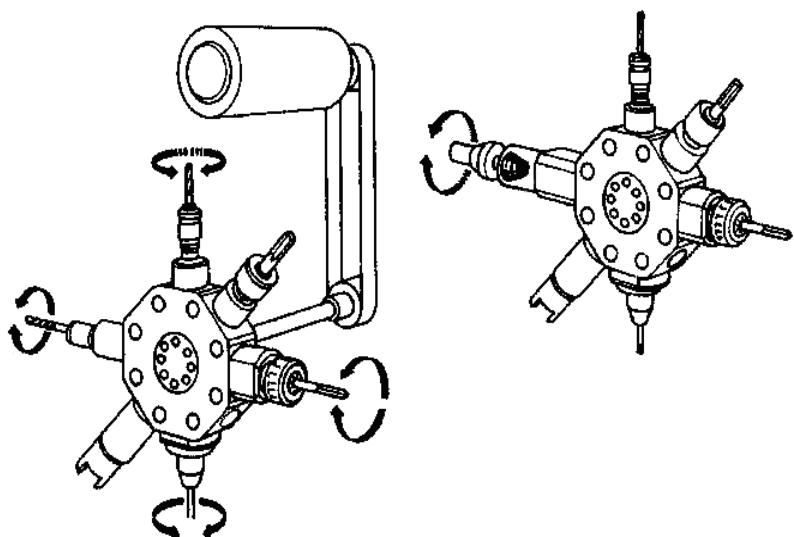


Рис. 2.16. Конструктивная схема револьверной головки токарного станка с вращающимися шпинделеми

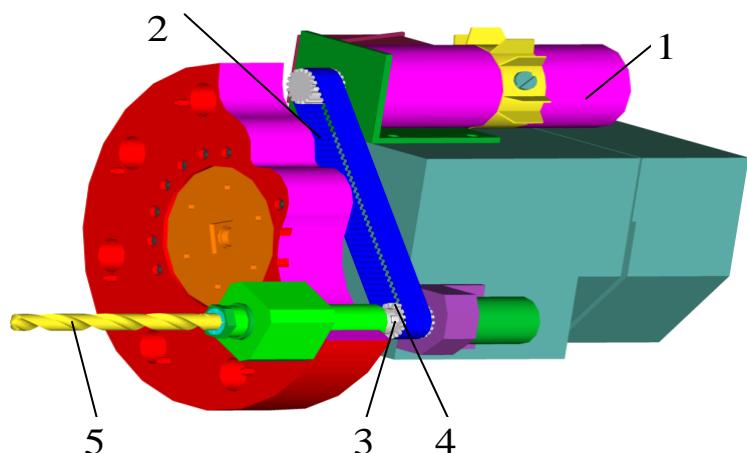


Рис. 2.17. Схема шестипозиционной револьверной головка с вращающимся инструментом: 1 – приводной двигатель; 2 – зубчатая ременная передача; 3, 4 – полумуфты; 5 – инструмент

Токарные станки, оснащенные приводным инструментом, получили название токарных обрабатывающих центров. Такие станки обычно оснащаются одной револьверной головкой, содержащей как приводной, так и неподвижный инструмент; двумя револьверными головками, одна из которых содержит неподвижный инструмент, а вторая - приводной.

Токарные станки с ЧПУ могут быть оснащены устройствами АСИ, состоящими из магазинов-накопителей инструмента и манипуляторов, которые автоматически заменяют инструмент в резцодержателе. Применение таких устройств АСИ имеет следующие преимущества перед револьверными головками: исключается возможность сталкивания инструмента, что значительно упрощает программирование и составление карт наладки; наличие большего числа инструментов в магазине позволяет обработать максимальное число поверхностей с одной установки; обеспечивается возможность замены инструментов в магазине во время работы станка, что сводит к минимуму подготовительно-заключительное время на смену комплекта инструментов.

Примеры обработки поверхностей на токарных обрабатывающих центрах показаны на рис. 2.18.

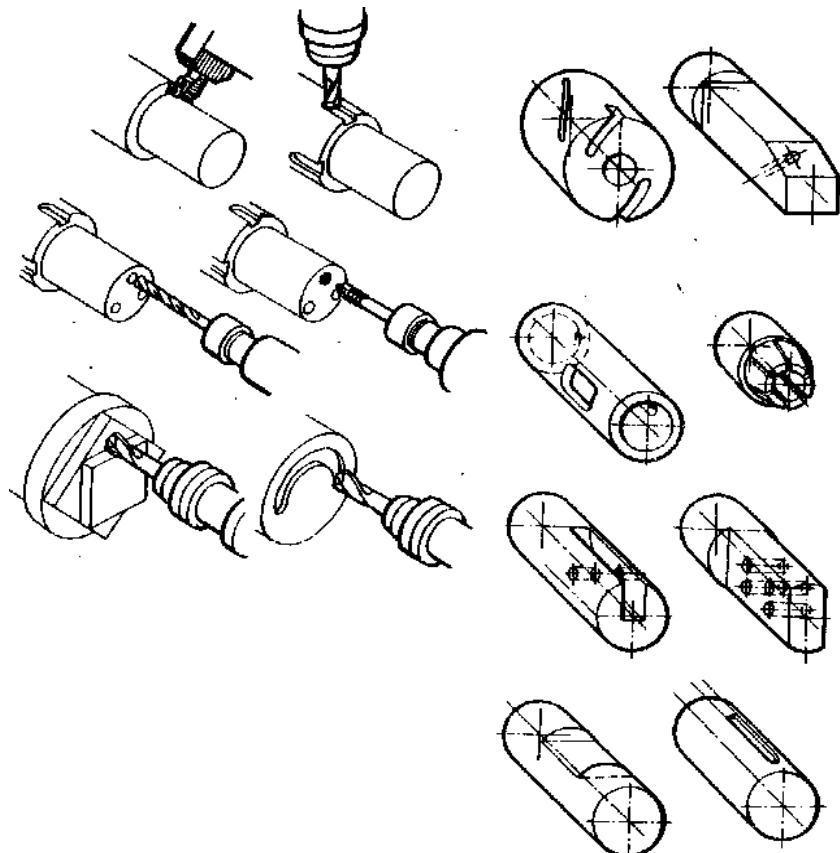


Рис. 2.18. Примеры обработки на станках с револьверной головкой с приводными шпинделеми

В настоящее время магазины – накопители устанавливаются, в основном, на токарные обрабатывающие центры с вертикальным расположением оси шпинделя. На станках с горизонтальным

расположением оси шпинделя используются в основном восьмипозиционные револьверные головки с горизонтальной осью вращения.

При изготовлении криволинейных пазов и поверхностей кулачков, а также для растачивания отверстий с точным угловым расположением требуется привод шпинделя, управляемый УЧПУ и обеспечивающий программируемое угловое перемещение шпинделя, частоту и направление вращения. Для этого используется следящий привод с обратной связью по угловому положению шпинделя.

При фрезеровании и нарезании резьбы гребенкой, при точении многогранников или фрезеровании винтовых канавок применяется синхронизация вращения инструмента и заготовки.

### **2.3.2. Устройства АСИ для фрезерно-сверлильно-расточных (многоцелевых) станков**

В общем случае устройства АСИ многоцелевых станков состоят из следующих компонентов [3]: инструментальных магазинов, являющихся накопителями инструмента (блоков режущего и вспомогательного инструмента для инструментальных шпинделей); инструментальных манипуляторов, предназначенных для смены инструмента в шпинделе станка; промежуточных транспортных манипуляторов, предназначенных для передачи инструмента от магазина к инструментальным манипуляторам или к промежуточным позициям — накопителям инструмента.

Основные требования, предъявляемые к инструментальным магазинам, следующие: достаточная вместимость; высокая точность позиционирования инструмента в рабочем органе станка; легкость и удобство загрузки магазинов и хороший доступ к ним; минимальное время, затрачиваемое на смену инструмента; высокая надежность; наименьшее число координат при смене инструмента.

Вместимость инструментальных магазинов весьма различна (от 6 до 160 шт. и более). Наименьшую вместимость имеют револьверные головки, а наибольшую — барабанные и цепные магазины. Конструктивные исполнения устройств АСИ зависят от типов станков, рабочей зоны расположения шпинделя, необходимого числа и типа инструментов.

Используются три типа устройств АСИ: для смены шпиндельного узла; для смены инструмента в шпинделе станка и комбинированные.

Устройства для смены шпиндельного узла подразделяются на устройства с револьверными головками (рис. 2.19) и с дисковыми магазинами (рис. 2.20). В револьверных головках инструменты устанавливаются в требуемой последовательности обработки заготовки. Автоматическая смена инструмента осуществляется расфиксацией, поворотом и фиксацией револьверной головки. Инструменты, как правило, закрепляются в гнездах магазина и не меняются в течение всего времени обработки партии заготовок. Магазин является рабочим органом станка, воспринимающим силы резания.

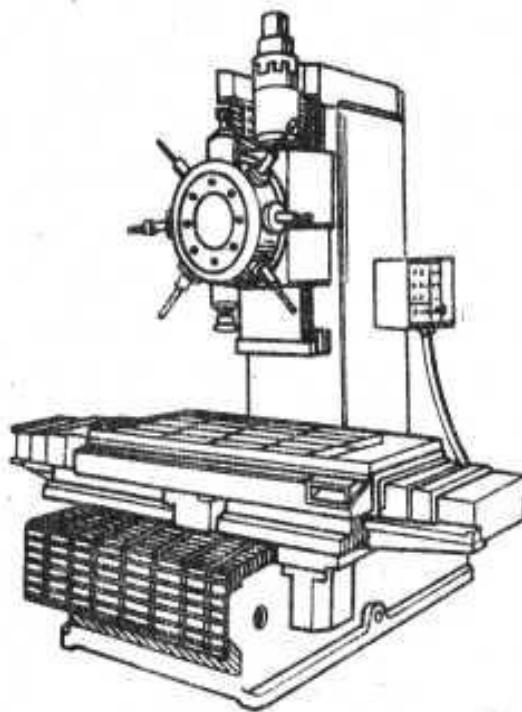


Рис. 2.19. Схема устройства смены шпиндельного узла в виде револьверной головки

При применении револьверных головок необходимость наличия инструментальных и транспортных манипуляторов, а также промежуточных накопителей отсутствует. Преимуществом таких устройств АСИ являются простота конструкции, минимальное время, необходимое для смены инструментов (1–3 с), отсутствие устройства автоматической смены инструмента в шпинделе станка.

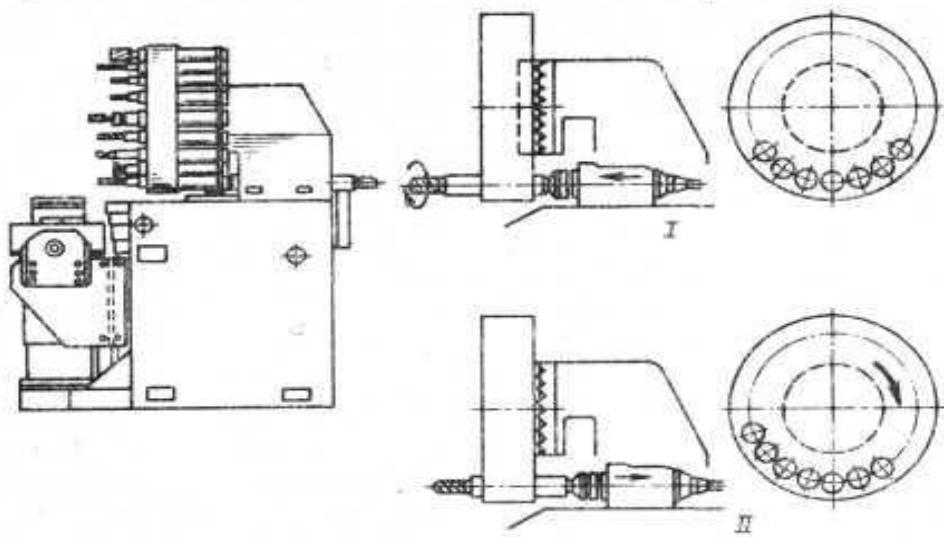


Рис. 2.20. Схема устройства смены шпиндельного узла в виде дискового магазина

Недостатки: небольшое число инструментов; ограниченность рабочей зоны (поскольку подача инструмента осуществляется перемещением револьверной головки); невысокая жесткость инструментальных шпинделей.

По положениям осей револьверных головок эти устройства подразделяются на головки с горизонтальной и вертикальной осями вращения. Наиболее широкое применение получили револьверные головки с горизонтальной осью вращения (на многоцелевых станках с вертикальным шпинделем).

Устройства для смены шпиндельного узла в виде дискового магазина используются с горизонтальной, вертикальной или наклонной осью поворота. Шпинделем поочередно присоединяются к приводу, обеспечивающему вращение и подачу шпинделя (рис. 2.20). При смене инструмента шпиндель отсоединяется от привода. Магазин поворачивается в положение, при котором очередной шпиндель устанавливается соосно со шпинделем привода и присоединяется к последнему.

Преимуществом устройств АСИ с магазином шпиндельных гильз перед устройствами с револьверными инструментальными шпиндельными головками является увеличение числа инструментов, большая жесткость шпинделя, меньшие ограничения зоны обработки, поскольку подача инструментов осуществляется перемещением гильзы шпинделя.

По сравнению с устройствами АСИ со сменой инструмента в шпинделе станка, АСИ с магазином шпиндельных гильз имеют меньшую жесткость шпинделя из-за необходимости увеличения вылета инструмента, меньшую вместимость магазинов, необходимость при смене инструмента отвода заготовки на значительное расстояние от шпинделя. На инструмент, находящийся в магазине, возможно попадание стружки и пыли.

Устройства для смены инструмента в шпинделе станка состоят из магазинов-накопителей инструмента и устройств различных конструкций для автоматической его установки из магазина в шпиндель станка и обратно.

На небольших и средних многоцелевых станках применяются наиболее простые конструкции устройств АСИ, в которых смена инструмента осуществляется относительным перемещением магазина и шпинделя станка (рис. 2.21) [7]. Применение таких устройств исключает наличие сложного узла – манипулятора, работающего в сложном цикле, требующего многих блокировок и точных фиксаций.

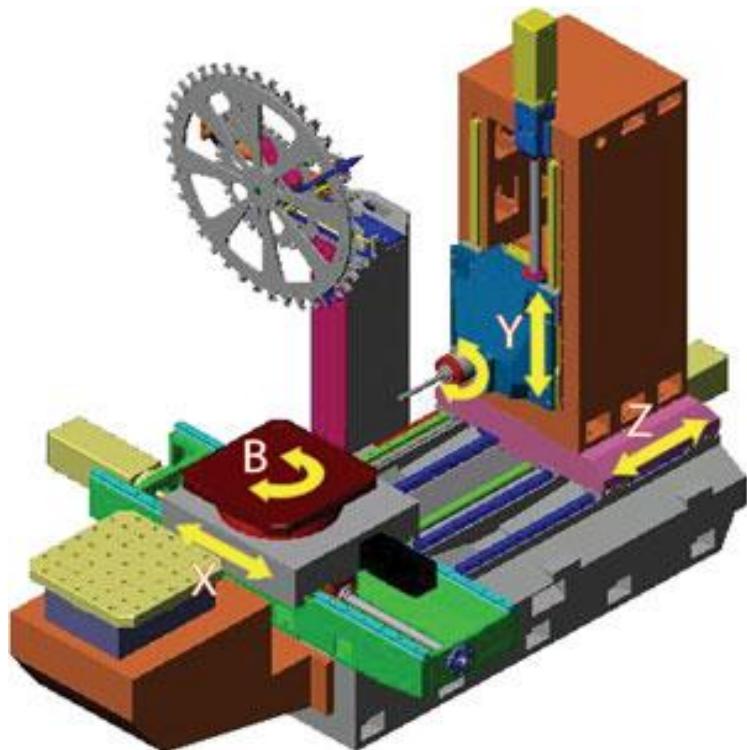


Рис. 2.21. Схема устройства смены инструмента путем относительного перемещения шпинделя: станок горизонтальный сверлильно-фрезерно-расточной с ЧПУ модели 630Н ОАО «Стерлитамакский станкозавод»

Это повышает надежность работы (что особенно важно при работе по безлюдной технологии), но увеличивает время смены

инструмента, так как время поиска требуемого инструмента не может быть совмещено с временем работы станка.

Магазины устройств АСИ с манипулятором подразделяются на дисковые, барабанные и цепные. Дисковые магазины (рис. 2.21) применяются с горизонтальной, вертикальной и наклонной осями вращения.

Барабанные магазины выполняются многоярусными (в виде этажерок) с вертикальной осью вращения с горизонтально установленными инструментами.

Цепные магазины выполняются вертикальными, горизонтальными или наклонными различной конфигурации (рис. 2.22) [4].



Рис. 2.22. Пример цепного магазина (горизонтальный обрабатывающий центр Hyundai Kia KH 50G/63G)

Наибольшей вместимостью обладают барабанные и цепные магазины.

Магазины-накопители инструментов могут быть установлены на стойке (колонне) станка, сверху или сбоку, вне станка или на шпиндельной бабке. Расположение магазина на шпиндельной бабке (рис. 2.23) не требует дополнительных перемещений манипулятора, шпиндельной бабки или магазина для обеспечения необходимого взаимного положения магазина и шпинделя при смене инструмента, которая осуществляется при любом положении шпинделя. Однако, в связи с большой массой магазина, имеют место значительные потери времени на вспомогательные ходы шпиндельной бабки.

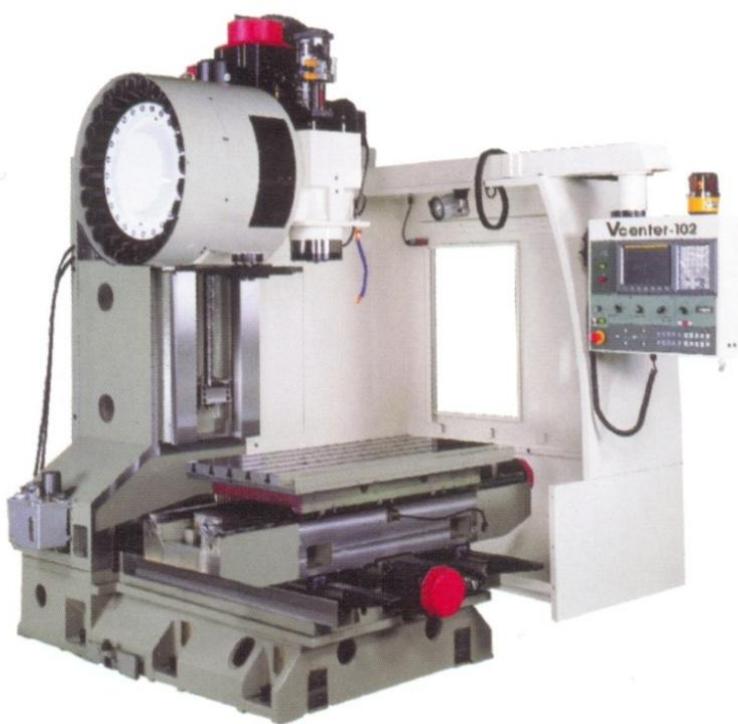


Рис. 2.23. Установка магазина на шпиндельной бабке станка

При установке магазина вне шпиндельной бабки (рис. 2.21) смена инструмента осуществляется при перемещении шпиндельной бабки по окончании очередного перехода в позиции смены инструмента, что увеличивает время между переходами, а также снижает точность обработки на величину повторяемой точности позиционирования шпиндельной бабки.

Инструментальные манипуляторы (рис. 2.24) [8], предназначенные для смены инструмента в шпинделе станка, по числу захватов подразделяются на одно-, двух- и многозахватные. Наиболее широкое применение получили двухзахватные манипуляторы.

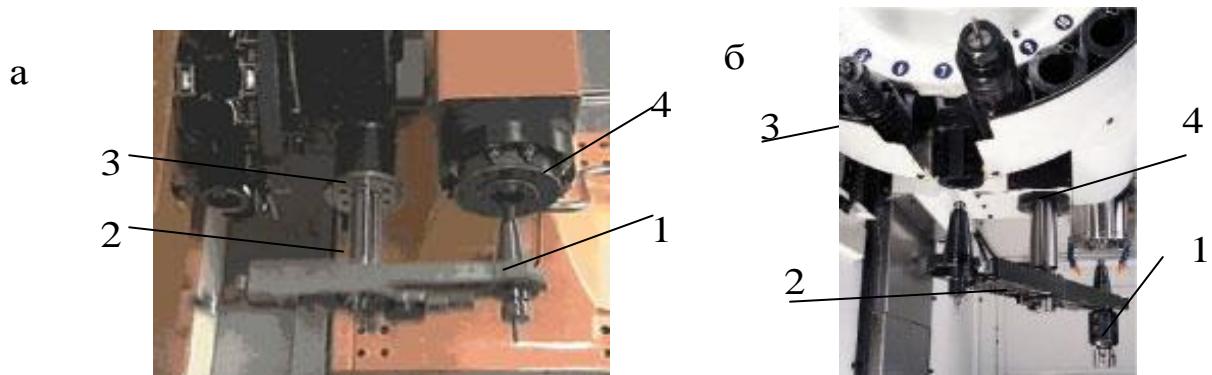


Рис. 2.24. Конструктивная схема смены инструмента манипулятором: 1 – инструмент; 2 – манипулятор; 3 – магазин; 4 – шпиндель

С целью увеличения эффективности устройства АСИ, повышения их надежности и снижения стоимости используют устройства АСИ, выполненные в виде законченных унифицированных автономных узлов (модулей), которые не зависят от компоновки конкретного станка и могут поставляться как самостоятельные узлы к различным моделям станков с ЧПУ. Они могут устанавливаться на станине или колонне станка, или на отдельном фундаменте. Применение таких устройств позволяет максимально унифицировать конструкции многоинструментальных станков с ЧПУ.

Установка магазинов агрегатированных автономных устройств АСИ вне станка на отдельном фундаменте обеспечивает большую вместимость магазина, удобство его обслуживания и исключает, вследствие отсутствия связи со станком, влияние переменного веса комплекта инструмента и вибраций при перемещении магазина для поиска инструмента во время работы станка, а также влияние температурного фактора на точность обработки. Значительное расстояние магазина от рабочей зоны станка обеспечивает предохранение инструментов от попадания стружки, эмульсии, чугунной пыли и т. д.

**Комбинированные устройства АСИ.** Такие устройства обеспечивают смену шпиндельного узла и инструмента в шпиндельном узле (рис. 2.25). В их состав входят: револьверная головка, поворот которой на 1800° обеспечивает смену всего шпиндельного узла; установленный на инструментальной бабке магазин с манипулятором, предназначенным для смены инструмента

в одном из шпинделей револьверной головки во время обработки заготовки инструментом, установленным в другом шпинделе. Смена инструмента осуществляется в любом его положении относительно стола станка.

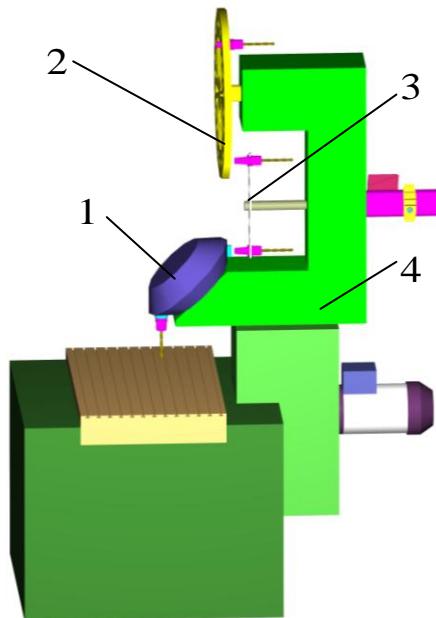


Рис.2.25.Схема комбинированного устройства АСИ: 1- револьверная головка; 2 – магазин; 3 – манипулятор; 4 – шпиндельная бабка

### **2.3.3. Устройство АСИ токарно-фрезерных обрабатывающих центров**

Станкостроительными компаниями производится ряд многофункциональных токарно-фрезерных центров. Работа на таких станках требует меньше оснастки, меньше ручных настроек, меньше обслуживания благодаря высокой степени автоматизации и технологической оснащенности. Типичным примером является многофункциональный токарно-фрезерный центр пятого поколения Super NTX фирмы Nakamura (рис. 2.26).

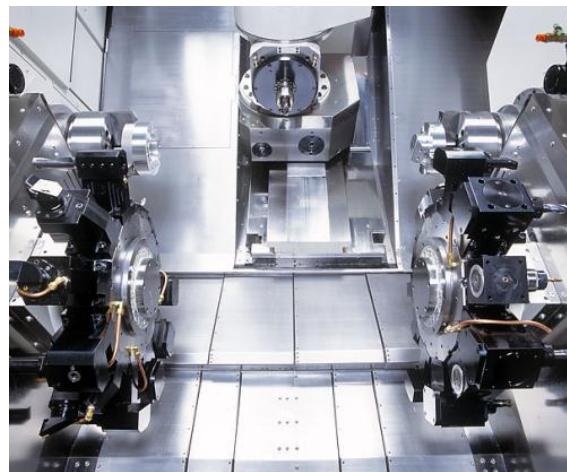


Рис. 2.26. Токарно-фрезерный центр Nakamura-Tome

Концепция Super NTX воплощает формулу «три в одном»: функциональные возможности двух токарных и фрезерного станков, что позволяет, осуществляя одновременное 11-осевое управление, высокопроизводительно выполнять комплексную обработку деталей с одной установки (рис. 2.27).

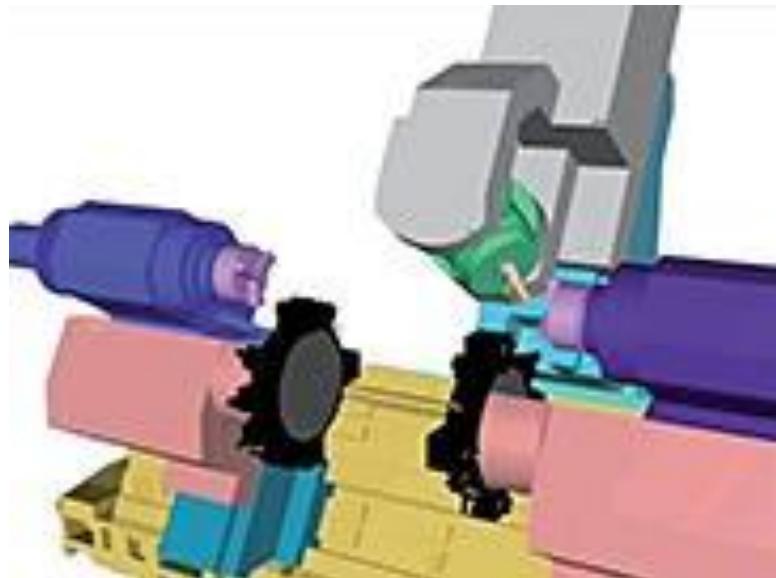


Рис. 2.27. Устройство станка

Точность обработки Super NTX обеспечивается продуманной конструкцией и качеством изготовления станков. Это жесткая станина, широкие направляющие скольжения (отсутствие вибраций при нагруженных режимах резания), принудительное охлаждение шпиндельных бабок и станины через сеть каналов с охлажденным

маслом (стабильность точности при длительной обработке), интегрированная конструкция шпинделя и электропривода (меньше излучение тепла, отсутствие люфтов в передачах).

Конструктивно шпинделы выполнены по типу «электрошпиндель» – т.е. ротор электродвигателя является единым целым с телом шпинделя. Управляемый поворот шпинделей с минимальным шагом  $0,001^\circ$  в сочетании с эффективным тормозом позволяет выполнять обработку по оси С, а также высококачественную контурную фрезерную обработку.

Обработку деталей можно осуществлять одновременно в двух шпинделях либо раздельно – как на двух разных станках (например, для обработки двух разных деталей), либо вместе – в этом случае второй шпиндель используется в режиме дополнительной управляемой опоры (например, для обработки крупных деталей).

На каждой из двух револьверных головок может быть размещено 12 токарных и приводных инструментов (в том числе с внутренней подачей СОЖ), а при использовании спаренных оправок – до 24 токарных инструментов. Левая револьверная головка работает с шпинделем, а правая – с противошпинделем. Кроме того, они могут использоваться в качестве экономичного устройства для загрузки заготовок и выгрузки готовых деталей, а также с их помощью можно выполнять запрессовку втулок (с усилием до 800 кг).

Для силового фрезерования и сверления используется инструментальный шпиндель с широкими возможностями перемещений и поворота относительно детали в шпинделе или противошпинделе. Функция контролируемого поворота шпинделя вокруг оси позволяет гибко использовать в нем не только фрезерный, но и токарный инструмент (в том числе с внутренней подачей СОЖ).

В стандартном оснащении магазин рассчитан на 24 инструмента, и на 40, 80 и 120 – в качестве опции. Магазин расположен на собственной станине, вследствие чего процесс смены инструментов, а также их вес, не вызывают вибраций, не оказывают влияния на точность обработки и могут выполняться во время резания инструментами револьверной головки не прекращая обработку (рис.2.28).



Рис. 2.28. Инструментальные магазины

Для автоматизированной непрерывной работы станка предусмотрена функция управления ресурсом режущего инструмента, позволяющая автоматически, не дожидаясь критического износа инструмента, заменять его дубликатом из другой позиции револьверной головки или инструментального магазина.

Функция контроля осевых нагрузок позволяет широко использовать ее возможности в работе со станком. Например:

- контроля усилия прижима детали вращающимся центром;
- автоматического задания глубины прохода при многопроходном сверлении в зависимости от величины нагрузки;
- аварийного останова станка при чрезмерных усилиях во время обработки;
- функции "воздушной подушки", позволяющей мгновенно (за 0,008 с) отследить внезапный рост нагрузки и отвести рабочий орган назад, уберегая станок от поломки;
- запрессовки втулок и т.д.

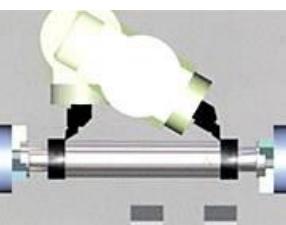
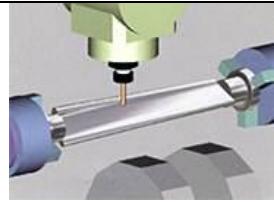
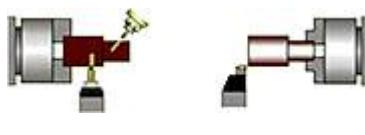
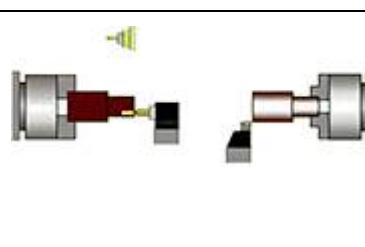
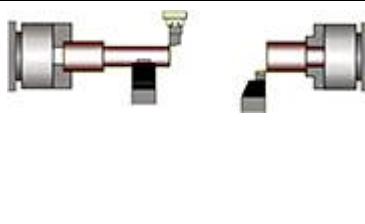
Поставляемое в комплекте программное обеспечение позволяет централизованно следить с персонального компьютера за работой нескольких удаленных станков. С его помощью можно дистанционно:

- просматривать подробную информацию о работе станка;
- определять состояние его работы (работа по программе, операция завершена, авария);
- вводить и выводить УП для каждого из станков;
- отображать экраны систем ЧПУ подключенных станков и т.д.

Технологические возможности станков данного типа представлены в табл. 2.1.

**Таблица 2.1**

## Технические возможности

	Точение в обоих направлениях инструментом инструментального шпинделя
	Силовое точение, сверление или фрезерование крупной детали, зажатой в обоих шпинделах
	Одновременная 4-осевая токарная обработка одной детали и токарно-фрезерная обработка во втором шпинделе
	Непрерывность процессов обработки путем перехода к обработке инструментом одной из револьверных головок во время смены инструмента в инструментальном шпинделе. Если ведется обработка в противошпинделе, то она также не прерывается
	Использование одной револьверной головки в качестве люнета во время обработки в шпинделе длинной детали инструментальным шпинделем и т.д.

## ГЛАВА 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ СТАНКОВ С ЧПУ

### 3.1. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ПРИСПОСОБЛЕНИЯМ

К технологическим приспособлениям для станков с ЧПУ предъявляется ряд специфических требований, обусловленных особенностью эксплуатации этих станков, несоблюдение которых значительно снижает эффективность их применения [3].

**Точность.** Приспособления должны иметь повышенную размерную точность. Погрешности базирования и закрепления, возникающие при установке заготовок в приспособлениях, должны быть сведены к минимуму.

**Жесткость.** Для возможности использования полной мощности станка на черновых операциях приспособления должны иметь повышенную жесткость. В то же время, конструкция приспособления должна обеспечить получение высокой точности на чистовых операциях.

**Полное базирование заготовки и приспособления на станке.** Относительное перемещение заготовки и инструмента на станках с ЧПУ осуществляется в системе заданных координат. Следовательно, для обеспечения автоматической ориентации опор относительно начала координат станка приспособления должны иметь полное базирование на станке, обеспечивающее строго определенное их положение относительно нулевой точки станка.

**Обеспечение свободного доступа инструмента к заготовке.** Станки с ЧПУ обеспечивают возможность обработки до 4-5 поверхностей с одной установки заготовки. Для этой цели приспособления должны обеспечивать возможность подхода инструмента ко всем обрабатываемым поверхностям.

**Автоматизация операций закрепления,** совмещение зажима – разжима заготовки с обработкой. Одним из путей для существенного сокращения времени простоев станков с ЧПУ является уменьшение времени зажима-разжима заготовок. Возможность обработки на станках с ЧПУ максимального числа поверхностей заготовки с одной

ее установки резко увеличивает цикл обработки заготовки на одном станке, что обуславливает возможность смены заготовки вне рабочей зоны станка или вне станка во время обработки на станке другой заготовки.

**Универсальность,** переналаживаемость приспособлений. Станки с ЧПУ, в отличие от станков-автоматов, обладают высокой гибкостью, так как переналадка их может заключаться лишь в смене УП. Наибольшая часть подготовительно-заключительного времени затрачивается не на переналадку станка, а на смену или переналадку оснастки – приспособлений и инструмента. Поэтому, для сокращения простоя станков приспособления должны обеспечивать возможность их быстрой переналадки или смены. На станках с ЧПУ наиболее эффективно использовать системы переналаживаемых приспособлений, обеспечивающих возможность обработки широкой номенклатуры заготовок благодаря перекомпоновке, смене или регулированию установочных и зажимных элементов.

**Многоместность.** Приспособления, применяемые в серийном производстве при обработке малогабаритных деталей, должны быть многоместными, так как при этом возможна обработка поверхностей во всех заготовках последовательно одним и тем же инструментом. Производительность обработки увеличивается за счет сокращения времени, затрачиваемого на смену инструмента. Кроме того, многоместные приспособления обеспечивают возможность смены заготовок во время работы станка и многостаночное обслуживание.

**Расширение** технологических возможностей станка. Экономическая эффективность обработки деталей зависит от степени использования технологической оснастки. Оснащение станков приспособлениями и оснасткой, расширяющими их технологические возможности, обеспечивает большой эффект в условиях индивидуального и серийного производства, компенсируя отсутствие тех или иных видов оборудования, устранивая дополнительную транспортировку деталей от станка к станку, ликвидируя недогрузку отдельных видов станков.

### **3.2. РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ**

Режущий инструмент является составной частью комплексной технологической системы станка с ЧПУ. Тщательному выбору и подготовке инструмента для станков с ЧПУ должно уделяться особое внимание. Это связано с высокой стоимостью этого оборудования и необходимостью достижения максимальной производительности и высокой точности обработки. Для обеспечения автоматического цикла работы станков требуется высокая степень надежности работы инструмента.

Режущий инструмент для станков с ЧПУ должен удовлетворять следующим требованиям [3]:

- обеспечение стабильных режущих характеристик;
- удовлетворительное формирование и отвод стружки;
- обеспечение заданных условий по точности обработки;
- универсальность применения для типовых обрабатываемых поверхностей различных деталей на разных моделях станков;
- быстросменность при переналадке на другую обрабатываемую деталь или замене при износе режущей части.

На станках с ЧПУ наибольшее распространение получил сборный инструмент со сменными многогранными пластинами (СМП). Широкое применение СМП обусловлено следующими факторами:

- обеспечивается значительная экономия дефицитных режущих материалов;
- существенно сокращается время подналадки инструмента (СМП могут быть замены без снятия корпуса инструмента из револьверной головки, в ряде случаев не требуется после замены СМП привязка инструмента);
- возможность быстрого подбора режимов резания путем замены пластин;
- стабильное получение одинаковой величины шероховатости при прочих равных условиях;
- надежное дробление стружки;
- исключается необходимость заточки инструмента.

В качестве режущего материала для инструмента станков с ЧПУ используют: твердые сплавы, керамику, сверхтвёрдые синтетические материалы и быстрорежущие стали.

Твердые сплавы подразделяют на четыре группы: вольфрамовые, tantalовольфрамовые, титанотанталовольфрамовые и безвольфрамовые. Они различаются по химическому составу, физико-механическим и эксплуатационным свойствам.

По классификации ISO твердые сплавы, независимо от химического состава, подразделяются, в зависимости от их пригодности, для обработки определенных материалов на три группы. Каждая группа обозначается буквой и цветом (синим, желтым или красным) и разделена на подгруппы, характеризующие конкретное назначение твердых сплавов: Р (синий) - сплавы для обработки углеродистой, легированной, высоколегированной и инструментальной сталей; М (желтый) – сплавы для обработки нержавеющих и жаропрочных сталей, титановых сплавов; К (красный) – сплавы для обработки чугунов, цветных металлов, закаленной стали, пластмасс и древесины.

Основным направлением повышения работоспособности твердых сплавов является нанесение на поверхность инструмента износостойких покрытий, повышающих его стойкость в 3–4 раза. В качестве покрытий применяют, в основном, карбид титана и нитрид титана.

Поскольку различие в стойкости покрытого и непокрытого инструмента с покрытием и без возрастает с повышением скорости резания, следует работать на более высоких скоростях резания для повышения производительности труда и увеличения суммарного числа деталей, обработанных одним инструментом.

В сборном металлорежущем инструменте от правильного выбора способа крепления пластин в значительной степени зависят его надежность, долговечность и стойкость.

Крепление должно обеспечивать:

- надежность (не допускать микросмещений пластины в процессе резания);
- плотный контакт опорной поверхности пластины с опорной поверхностью паза в державке;
- точность позиционирования и взаимозаменяемость режущих кромок при повороте и смене пластин;

- стабильность геометрии;
- дробление, завивание и надежный отвод стружки;
- минимальное время для смены СМП.

Также крепление должно быть компактным и технологичным.

Конструкции креплений зависят от конструкций самих СМП и от вида инструмента, величины и направления нагрузки на пластину в процессе резания, от условий размещения элементов крепления и других факторов.

СМП, в зависимости от заднего угла, делятся на негативные и позитивные. Пластины без заднего угла получили название негативных, так как при установке в пазу державки возникал отрицательный передний угол, равный углу наклона опорной поверхности паза. Пластины с задними углами можно устанавливать в корпусе с положительным передним углом. Такие пластины получили название позитивных (рис. 3.1).

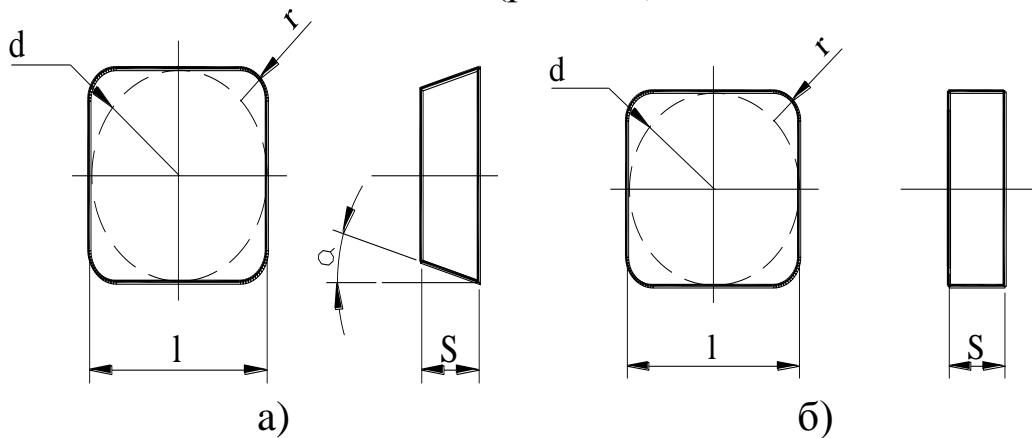


Рис. 3.1. Форма сменных многогранных пластин: а – позитивная СМП; б – негативная СМП

Коэффициент использования твердого сплава в негативных пластинах в 2 раза выше, чем в позитивных, так как первые, после износа всех режущих кромок с одной стороны, могут быть перевернуты, при этом их опорная поверхность становится передней поверхностью.

Недостаток этих пластин заключается в том, что при обработке с отрицательными передними углами возникают большие по значению силы резания, вызывающие, при определенных условиях, вибрацию и приводящие к выкрашиванию и поломке пластин.

Совершенствование методов точного прессования позволяет изготавливать пластины с большими положительными передними

углами (одно- и двусторонними) с установкой в державках, предназначенных для негативных пластин. При этом сохраняется положительный передний угол, вследствие чего снижаются (до 30 %) силы резания, затрачиваемая мощность станка, нагрузка на пластину и обрабатываемую заготовку детали, уменьшается опасность появления вибраций.

Пластины такого типа называют негативно-позитивными. Они устанавливаются в державке подобно негативным пластинам, но сохраняют при этом положительный передний угол в процессе резания.

### **3.3. МАТЕРИАЛЫ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ СОВРЕМЕННОГО ИНСТРУМЕНТА НА ПРИМЕРЕ МАТЕРИАЛОВ SANDVIK**

В настоящее время на рынке присутствует большое число фирм, занимающихся производством металлорежущего инструмента (табл.3.1). Каждая из них использует свои технологии и материалы, но основная часть их продукции соответствует стандартам ISO.

Современный инструмент на сегодняшний день рассматривают как систему, на функционирование которой влияют геометрия инструмента, материал рабочей части и покрытие. Все элементы дополняют друг друга, и неправильный выбор одного из них может значительно ухудшить общие результаты. Однако основополагающим в системе является материал рабочей части.

**Таблица 3.1**  
**Характеристика ряда мировых фирм производителей**  
**металлорежущего инструмента**

№ п/п	Название	Страна	Ценовая категория	Продукция
1	<i>Sandvik</i>	Швеция	высшая	Пластины твердосплавные, развертки, резцы, сверла, фрезы
2	<i>Seco</i>	Швеция	высшая	Зенкеры, зенковки, метчики, пластины, твердосплавные развертки, резцы, сверла, фрезы

№ п/п	Название	Страна	Ценовая категория	Продукция
3	<i>Iscar</i>	Израиль	высшая	Резцы, сменные режущие пластины, державки, сверла, фрезы, зубила, метчики, развертки, сверла
4	<i>Mitsubishi</i>	Япония	высшая	Сменные режущие пластины, резцы, расточной инструмент, резьбонарезной инструмент, фрезы, сверла
5	<i>TaeguTec</i>	Корея	низкая	Сменные режущие пластины, резцы, расточной инструмент, резьбонарезной инструмент, фрезы, сверла
6	<i>Walter</i>	Германия	средняя	Резцы, сменные режущие пластины, державки, сверла, фрезы, резцы, метчики, резьбонарезной инструмент, развертки
7	<b>ООО «ПКФ Инструмен т-сервис»</b>	Россия	низкая	Фрезы, резцы, твердосплавные пластины, сверла, метчики, развертки, зенкеры, зенковки, пилы дисковые сегментные
8	<b>ООО «ПЕТБОР»</b>	Россия	средняя	Фрезы, резцы, твердосплавные пластины, сверла
9	<i>ZCC</i>	Китай	низкая	Пластины из спеченного карбида для фрезерования, пластины из спеченного карбида с покрытием и различными углами крепления для токарных работ, точные многогранные инструменты и микросверла из спеченного карбида.

Марка сплава пластины выбирается в зависимости от материала детали, условий обработки и типа операции. Обозначение сплава показывает тип инструментального материала и область применения этого материала. Инструментальный материал и геометрия пластины работают совместно, и, например, недостаток прочности геометрии может компенсироваться прочностью сплава.

Современные инструментальные материалы разнообразны и их развитие продолжается. При этом развиваются не только сами инструментальные материалы, но и технологические процессы их изготовления. Это привело к тому, что теперь есть высокопроизводительный инструмент для любых типов обработки. Основными инструментальными материалами являются (рис. 3.2):

- твердый сплав с покрытием (HC);
- твердые сплавы (HW);
- металлокерамика (HT, HC);
- керамика (CA, CN, CC);
- кубический нитрид бора (CBN);
- искусственные поликристаллические алмазы (DP, HC).

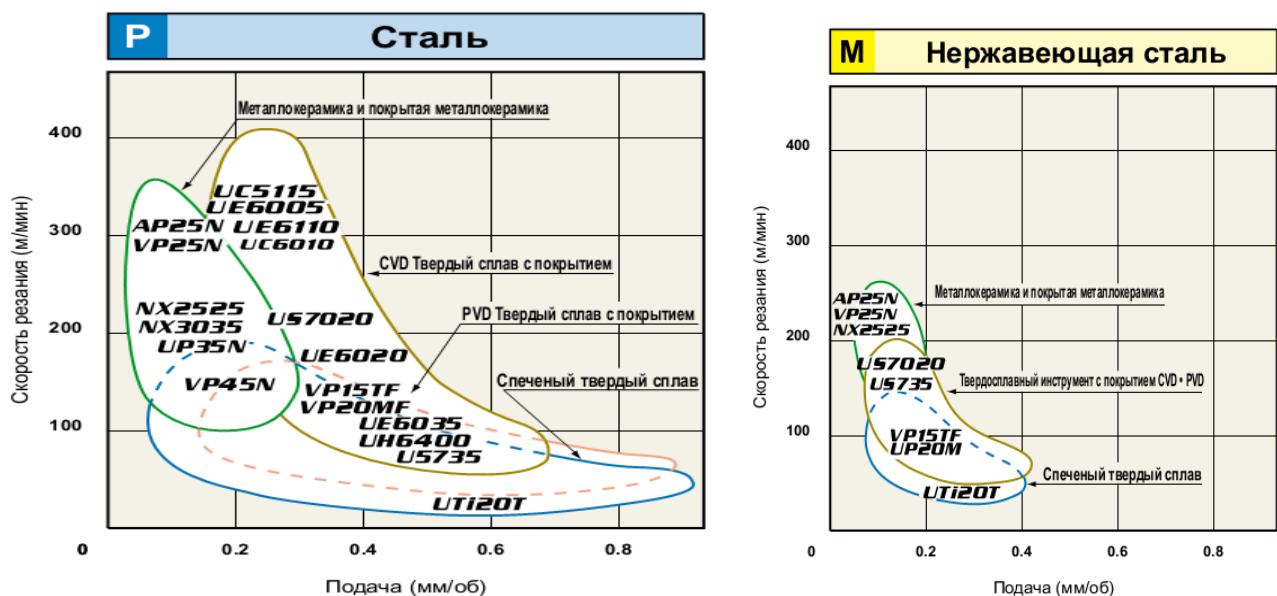


Рис. 3.2. Диапазоны скоростей обработки при точении.

Марки твердых сплавов разделены на две группы и размещены в диаграмме ISO/ANSI в зависимости от их износостойкости и прочности:

- основной сплав;
- дополнительная марка сплава.

Основными характеристиками твердых сплавов являются износостойкость и прочность. Именно они влияют на выбор сплава для конкретного случая обработки. Существуют рекомендации по совместному применению сплавов и геометрий пластин, однако

существует немало вариантов оптимизации обработки и многие сплавы способны заменять друг друга.

### **3.3.1. Режущий инструмент для токарных станков с ЧПУ**

Выбор режущего инструмента для токарной обработки зависит от поверхностей, образующих контур заданной детали. Для обработки основных наружных цилиндрических, конических и торцевых поверхностей в большинстве случаев используют проходные черновые и чистовые (контурные) резцы. В зависимости от направления подачи проходные резцы подразделяются на правые и левые.

Для обработки внутренних основных поверхностей используют центровочные и спиральные сверла, а также расточные резцы. Размеры расточного инструмента устанавливают в соответствии с диаметром и длиной внутренних поверхностей деталей, обрабатываемых в патроне [10]. Рассверливать целесообразно уступы, которые по величине больше, чем два прохода, расточным резцом. Зенкеры и развертки для обработки осевых отверстий на токарных станках применять не рекомендуется. Они рентабельны лишь при обработке больших партий деталей или отверстий малого диаметра [10].

Для обработки дополнительных поверхностей используют канавочные резцы (наружные, внутренние и торцевые), внутренние и наружные – для угловых канавок, а также резьбовые наружные и внутренние – для метрических и дюймовых резьб.

При выборе параметров резцов следует обратить внимание на материал режущей части, углы в плане, передний угол, задний угол, радиус вершины резца.

Материал режущей части инструмента выбирают в зависимости от стадии обработки, глубины резания и обрабатываемого материала.

Выбор главного и вспомогательного углов в плане зависит от типа обработки. При черновой обработке необходимо применять резцы с главным углом в плане  $30\dots45^\circ$ , а при чистовой и отделочной – использовать резцы с углами в плане близкими к  $90^\circ$ . При указанных параметрах углов при черновой обработке уменьшается нагрузка на механизм привода подач от сил резания, а на чистовой – радиальная составляющая силы резания минимальна.

Вспомогательный угол в плане и радиус вершины резца оказывают влияние на шероховатость обработанных поверхностей: чем меньше вспомогательный угол в плане и чем больше радиус вершины резца, тем меньше шероховатость. Однако при этом снижается виброустойчивость технологической системы.

Передний и задний углы определяют прочность режущей части резца. Для черновой обработки целесообразно применять резцы с малыми (или отрицательными) передним углом, а для чистовой – с большим значением этого угла.

Наиболее распространенные типы резцов и области их использования представлены в таблице 3.2 [10].

Стандартами ISO предусмотрено четыре типа механического крепления СМП. Условное обозначение, конструктивное исполнение и область использования представлены в таблице 3.3 [3, 11].

Резцы выполняются правыми и левыми. Использование того или иного резца зависит от направления рабочей подачи, конструктивного положения револьверной головки (за или перед осью центров), а также от следующих соображений:

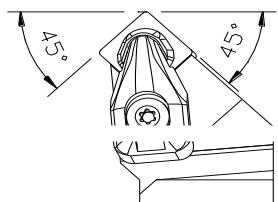
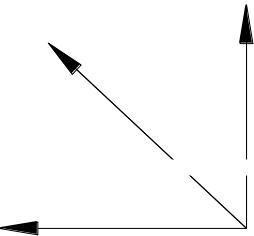
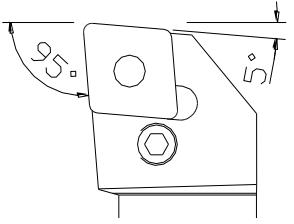
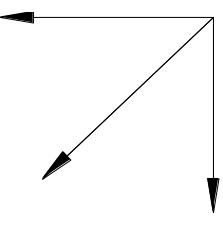
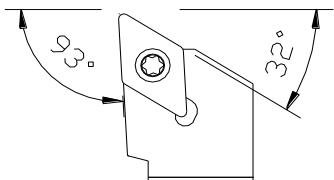
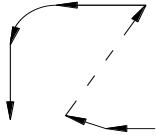
- правый инструмент располагается в револьверной головке, находящейся перед осью центров, передней поверхностью вверх, что приводит к разлету стружки из зоны резания;

- левый инструмент устанавливается передней пластиной вниз. Это приводит к надежному падению стружки в стружкосборник станка.

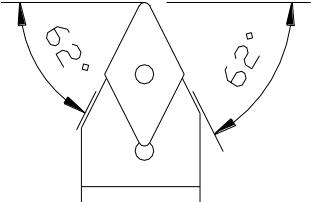
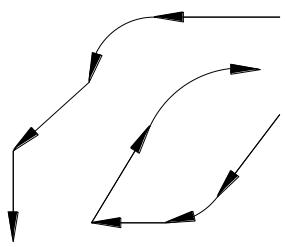
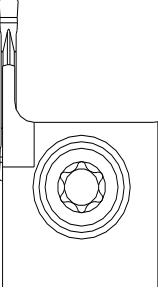
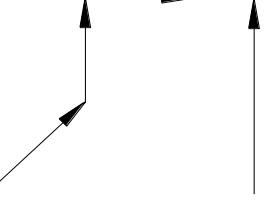
После выбора инструмента необходимо его распределить по револьверной головке, обеспечив равномерную нагрузку. Расположение осевого и радиального инструментов должно быть таким, чтобы исключались столкновения осевого инструмента с кулачками патрона.

**Таблица 3.2**

Основные типы резцов, используемых при обработке заготовок деталей на станках с ЧПУ

Тип резцов	Форма рабочей части	Направление рабочих перемещений	Область применения
Проходной			Наружное обтачивание, проточка торцов, проточка выточек, снятие фасок
			Позволяет обтачивать детали по цилиндр, обрабатывать радиусные и переходные поверхности и протачивать торцы движением от центра детали к наружному диаметру
Контурный			Позволяет обтачивать детали по цилиндр, протачивать обратный конус с углом спада до 30°, обрабатывать радиусные и переходные поверхности и протачивать торцы движением от центра детали к наружному диаметру

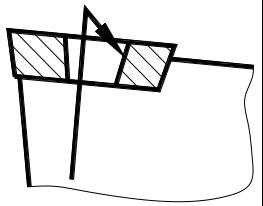
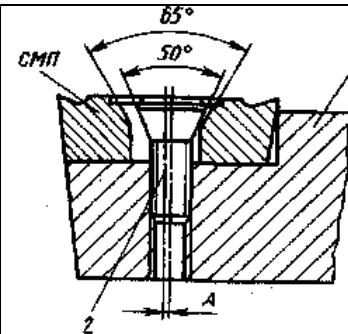
Окончание табл.3.2

Тип резцов	Форма рабочей части	Направление рабочих перемещений	Область применения
Контурный			Позволяет обтачивать детали по цилинду, обрабатывать полусферические поверхности и конусы с углом спада до $57^0$
Канавочный (отрезной)			Точение канавок, цилиндрическое проплавивание дна канавки с осевой подачей, точение фасок

**Таблица 3.3****Области использования систем крепления СМП**

Обозначение, схема	Вид обработки		Пример исполнения	Описание
	Наружная	Внутренняя		
C	Устаревшая система крепления режущих пластин. При разработке новых технологических процессов рекомендуется использовать более современные конструкции			При таком методе закрепления СМП базируют в закрытом гнезде державки 1 по двум базовым поверхностям и прижимают к опорной поверхности прихватом 2. Быстрый съем СМП обеспечивается дифференциальным винтом 3. Опорную твердосплавную пластину 4 закрепляют винтом 5 на державке резца или разрезной пружинящей втулкой
P	Наиболее жесткая конструкция крепления режущих пластин.	Обработка диаметров от 32 мм. Высокие требования к технологической системе. Жесткая конструкция.		СМП базируется в закрытом гнезде державки 1, а рычаг 2, приводимый в действие винтом 3, подтягивает ее к двум боковым стенкам гнезда и прижимает к опоре. Опорную пластину 4 закрепляют разрезной втулкой 5. Конструкция узла крепления обеспечивает возможность быстрого и точного поворота или смены СМП и надежного ее закрепления
M	Возможность использования негативных пластин	Возможность использования негативных пластин		

### Окончание табл. 3.3

 <b>S</b>	<p>Наиболее предпочтительный выбор при обработке материалов, склонных к наклепу и наростообразованию. Использование позитивных пластин</p>	<p>Обработка диаметров от 20 мм. Низкие силы резания, плавность процесса резания позволяют практически исключить вибрации</p>		<p>Конусная головка винта 2 крепит СМП непосредственно к опорной поверхности державки 1. Преимуществом этой конструкции являются компактность узла крепления, хороший отвод стружки с открытой передней поверхности, высокая надежность и быстрая смена пластин</p>
---	--	---	--	---

### 3.3.2. Режущий инструмент многоцелевых станков с ЧПУ

#### 3.3.2.1. Режущий инструмент для обработки поверхностей фрезерованием

Основными типами фрез, используемых для обработки широкой номенклатуры деталей на фрезерных станках с ЧПУ, являются торцевые и концевые цилиндрические фрезы. Торцевые фрезы применяются для обработки плоскостей, а концевые цилиндрические – для обработки контуров. Однако, в ряде случаев плоскости обрабатывают концевыми цилиндрическими фрезами. В зависимости от конфигурации детали и требований чертежа на операциях фрезерования используют концевые сферические, шаровые и конические фрезы, а также дисковые. При этом следует отдавать предпочтение сборному инструменту (рис. 3.3) [12].

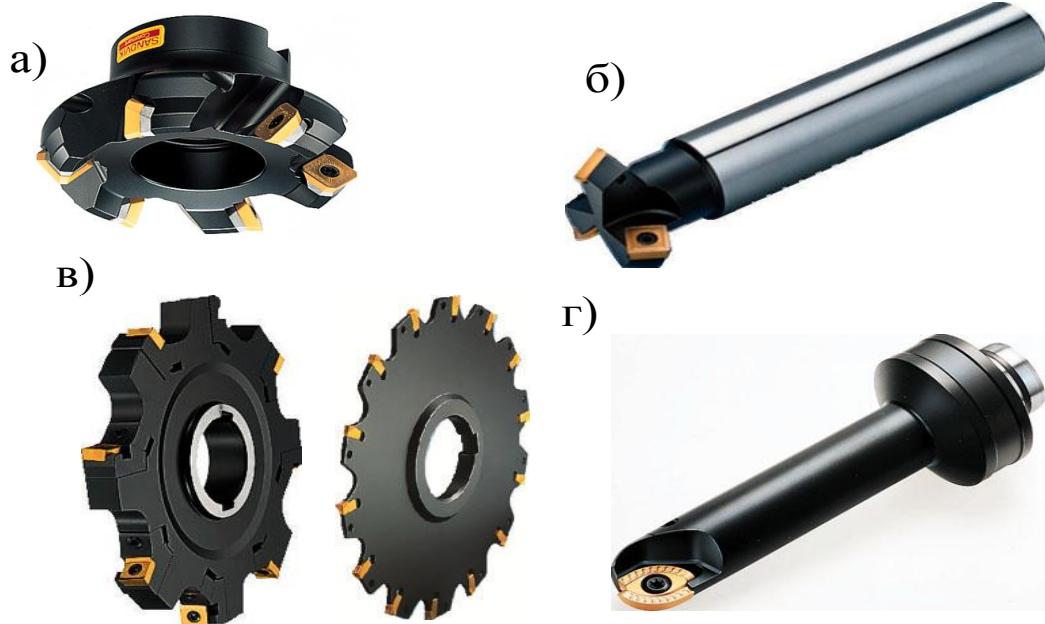


Рис. 3.3. Фотографии сборного инструмента, на примере Sandvik Coromant: а - торцевая фреза; б - дисковые фрезы; в - концевая фреза; г - сферическая фреза

С помощью сферических фрез (рис. 3.3 (г)) может быть обеспечена получистовая и чистовая обработка, а также обработка закаленных сталей с твердостью до 63 HRC.

Концевые цилиндрические фрезы также могут оснащаться СМП (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Фотография концевой цилиндрической фрезы в работе на примере Sandvik Coromant.

Наиболее эффективный съем большого объема материала можно достичь, работая плунжерными фрезами (рис. 3.5). Эти фрезы работают с осевой подачей. За счет этого они менее подвержены вибрациям, и можно более полно использовать все возможности станка, работая на больших подачах.



Рис. 3.5. Фотография плунжерных фрез

При выборе режущего инструмента вначале выявляют типы инструментов, необходимые для обработки детали на данной операции. Затем определяют технологические параметры каждого типа инструмента: материал режущей части, углы заточки режущих кромок и прочее. На заключительном этапе выбирают конструктивные параметры режущего инструмента: диаметр фрезы  $D$ , длину режущей части  $l$ , вылет фрезы  $L$ , число зубьев  $z$ , радиус заточки торца фрезы  $r$ .

Материал режущей части торцовой фрезы выбирается в зависимости от обрабатываемого материала по картам, приведенным в нормативах режимов резания [10]. Здесь же, по нормативным картам проводится выбор числа зубьев торцовой фрезы и главного угла в плане.

Диаметр торцовых фрез рекомендуется выбирать по зависимости

$$D = (1,4 \dots 1,8)B_3,$$

где  $B_3$  - ширина фрезирования, мм.

Выбор материала режущей части концевых фрез, а также переднего и заднего углов, в зависимости от различных факторов можно выполнить в соответствии с нормативными рекомендациями [9].

Для чистовой обработки контуров диаметр  $D$  концевой фрезы выбирается по номинальному размеру наименьшего радиуса сопряжения элементов, образующих вогнутость на контуре, т. е. радиус концевой фрезы должен быть не больше наименьшего радиуса кривизны вогнутого контура. Если конфигурация детали не накладывает ограничений на диаметр фрезы, то выбирается концевая фреза с таким максимальным диаметром, которую можно установить на станке.

Диаметр черновой фрезы  $D_{max}$  выбирается из условия доступа инструмента во внутренние острые углы контура (рис. 3.6 (а)) [10]. При этом желательно, чтобы оставляемый во внутренних углах контура припуск не превышал  $(0,15 \dots 0,25) D$ , где  $D$  – диаметр инструмента, используемого на чистовом переходе [1].

Исходя из этих условий, наибольший диаметр инструмента для чернового перехода может быть определен по формуле:

$$D_{\max} = \frac{2 \left( \delta \sin \frac{\varphi}{2} - \delta_1 \right)}{\left( 1 - \sin \frac{\varphi}{2} \right)} + D,$$

где  $\delta$  - максимальный припуск при обработке внутреннего угла;  $\delta_1$  - припуск для чистовой обработки контура;  $\varphi$  - наименьший угол сопряжения сторон в данном контуре;  $D$  - диаметр окружности, сопрягающей стороны контура (равен диаметру чистовой фрезы).

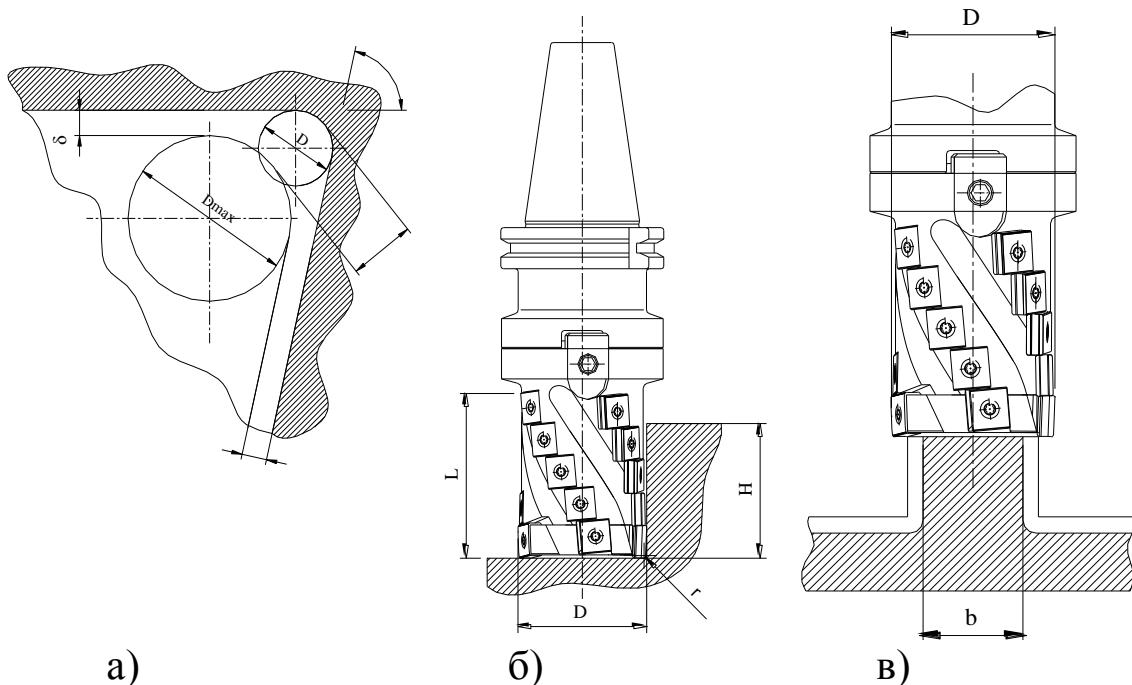


Рис. 3.6. Схемы процессов обработки при выборе параметров фрезы

Радиус заточки торца фрезы  $r$  (рис. 3.6 (б)) для чистовой обработки определяется номинальным размером наибольшего типового конструктивного радиуса сопряжения стенок в вертикальном сечении.

При торцовой обработки ребер (рис. 3.6 (в)) диаметр фрезы целесообразно назначать из условия

$$D = (5...10)b + 2r,$$

где  $b$  - окончательная толщина стенки ребра;  $r$  - радиус закругления у торца инструмента.

Для обеспечения жесткости инструмента необходимо, чтобы его диаметр удовлетворял условию

$$H \leq 2,5D,$$

где  $H$  - максимальная высота стенки обрабатываемой детали (рис. 3.6 (б)).

Если это условие не выполняется, тогда выбирают фрезу с ближайшим большим типовым диаметром и обработку проводят за несколько проходов [1].

Длина режущей части инструмента 1 для обработки внутренних глухих контуров определяется по формуле:

$$l = H + (5...7).$$

Для обработки наружных и сквозных внутренних контуров

$$l = H + r + 5,$$

где  $r$  - радиус скругления у торца фрезы.

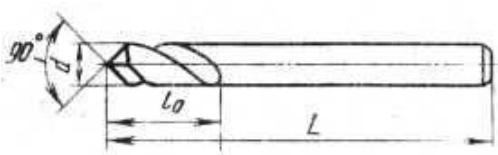
Для обработки концевыми фрезами плоскостей рекомендуется выбирать инструмент, у которого торец самую большую площадь и у которого отсутствует радиусная заточка.

После уточнения выявленных технологических и геометрических параметров, а также конструктивных особенностей инструмента, проводится его окончательный выбор соответствующим каталогам [8]. При отсутствии подобного инструмента в каталогах, инструмент заказывается и проектируется как специальный.

### *3.3.2.2. Режущий инструмент для обработки отверстий*

На станках с ЧПУ сверлильно-фрезерно-расточной группы для обработки отверстий используют следующие основные типы режущих инструментов [3, 9, 10, 13].

1. Сверла центровочные (рис. 3.7), спиральные; сверла с многогранными неперетачиваемыми пластинами (рис. 3.8), ступенчатые (рис. 3.9), перовые.



Сверло	d (h8)	L	L <sub>0</sub>
035-2317-0101	5,0	55	15
-0102	10,0	75	30
-0103	16,0	100	48
-0104	20,0	120	60

Рис. 3.7. Конструктивное исполнение и параметры сверла центровочного

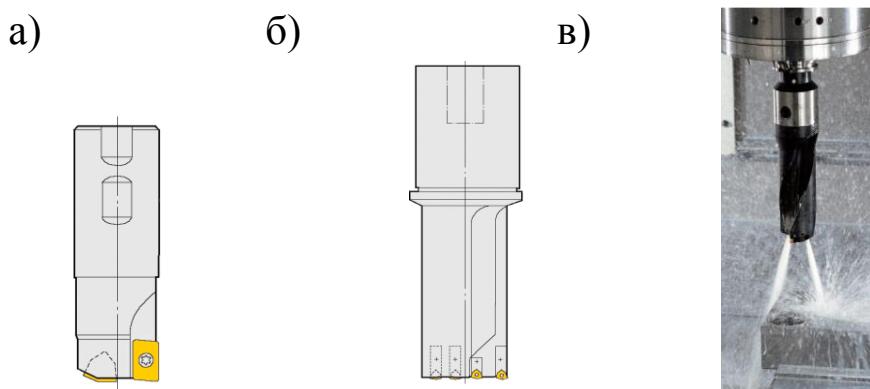


Рис. 3.8. Схемы и фотография сверл, оснащенных СМП: а, б – конструктивное исполнение; в – сверло в работе



Рис. 3.9. Конструктивные исполнения сверл ступенчатых: а – цельное сверло для обработки отверстия и снятия фасок; б, в – сборные сверла для обработки фасок и углублений под головку винта

Сверла с СМП обычно используют для горизонтального сверления отверстий глубиной, равной 2,5 диаметрам сверла, а при вертикальном сверлении – до 1,5 диаметров. По сравнению с быстрорежущими спиральными сверлами, сверла, оснащенные СМП, обеспечивают увеличение скорости резания не менее чем в 5 – 10 раз (до 300 м/мин) при снижении величины подачи в 2 – 3 раза, а из-за отсутствия перемычки усилия подачи уменьшаются на 60 %.

Особенностью эксплуатации сверл с пластинами является необходимость подвода охлаждающей жидкости через внутренние каналы под давлением 0,15 МПа. Для вращающегося инструмента должны быть предусмотрены специальные устройства для подвода СОЖ:

2. Зенкеры и развертки цельные и насадные (рис.3.10).

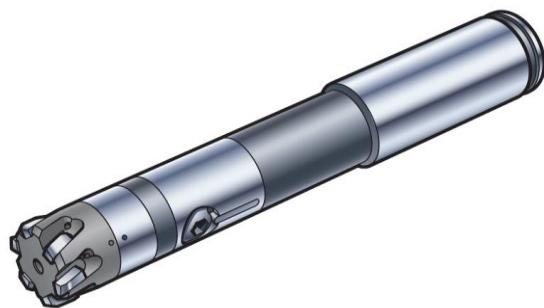


Рис. 3.10. Конструктивное исполнение развертки Reamer 830 (Sandvik Coromant)

3. Зенковки (рис. 3.11) цилиндрические и конические.

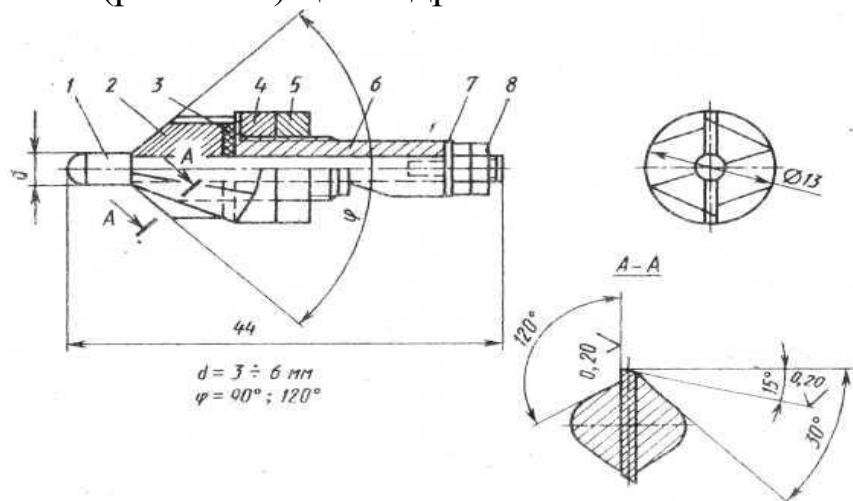


Рис. 3.11. Конструктивное исполнение зенковки

4. Метчики.

5. Расточные оправки (рис. 3.12).

На станках с контурным или комбинированным устройством ЧПУ для обработки отверстий с круговой интерполяцией используют также концевые фрезы.

Выбор режущих инструментов осуществляется в соответствии с заданным маршрутом обработки отверстия, т. е. согласно последовательности выполнения переходов. Диаметры режущих

инструментов для обработки отверстий на сверлильных станках с ЧПУ ориентировочно можно назначать согласно табл. 3.4.

а)

б)

в)

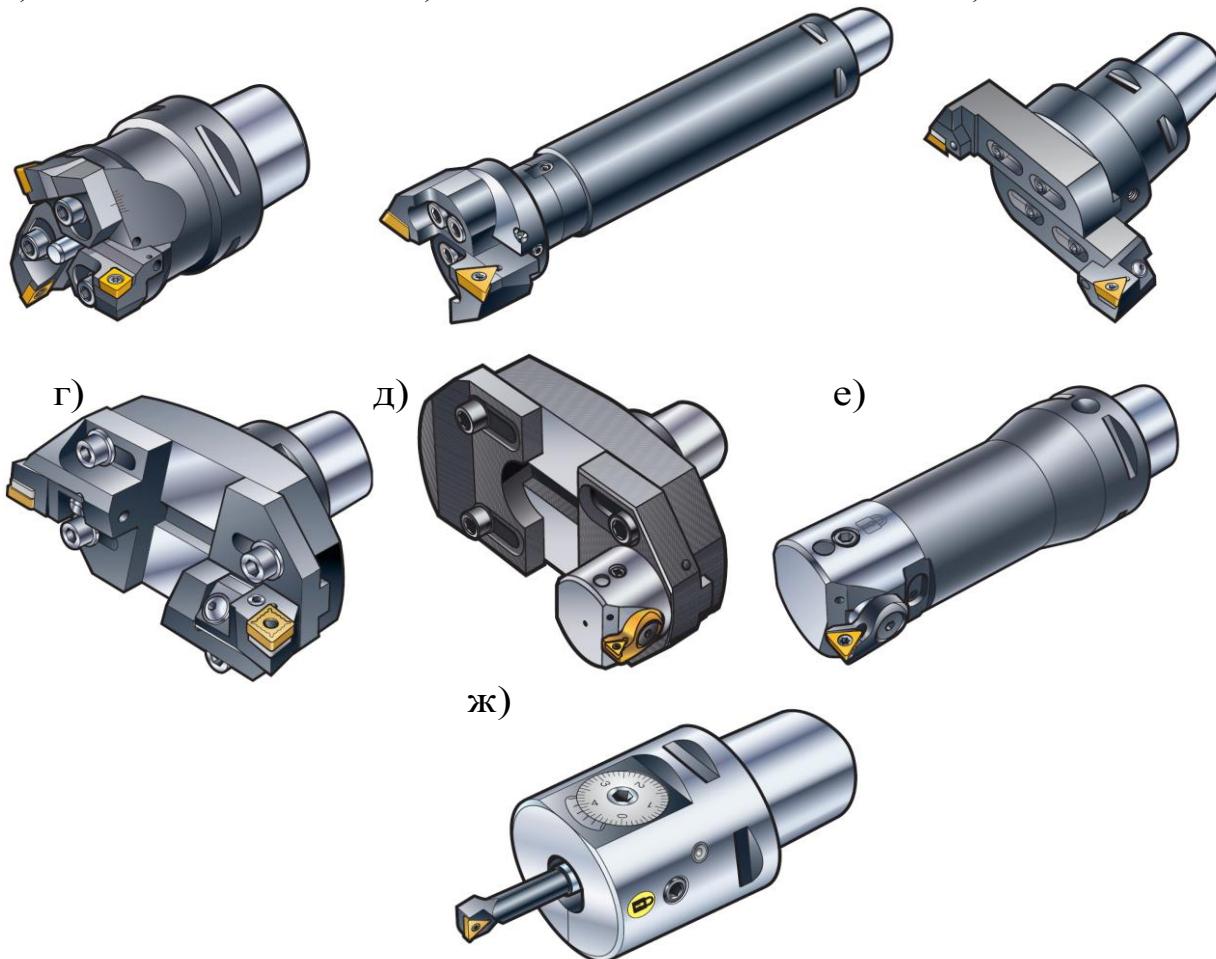


Рис. 3.12. Конструктивное исполнение расточных оправок: а, б, в, г – трех- и двухрезцовые оправки для чернового растачивания; д, е, ж – однорезцовые оправки для чистового растачивания

Если известны глубины резания  $t_i$ , то необходимые диаметры инструментов для каждого перехода, начиная с последнего, рассчитываются по формуле:

$$d_i = D_{i+1} - 2t_{i+1} .$$

Для перехода «зенкования» минимальный диаметр инструмента  $d_i$  определяется по формуле

$$d_i = D_0 + 2f,$$

где  $D_0$  – диаметр отверстия в предшествующем переходе или в заготовке, мм;  $f$  – величина фаски, мм.

**Таблица 3.4**

Инструмент для обработки отверстий на сверлильных станках с ЧПУ

Диаметр отверс- тия, D, мм	Диаметр инструмента d, мм						
	Центровочное сверло		Точность по диаметру отверстия, квалитет				
	Спи- ральное	Комбиниро- ванное	11	7...8			
D 2...3 3...4 4...6 6...8 8...10 10...13 13...15 15...18 18...30			сверло	сверло	зенкер	Развертка	Чисто- вая
1,0							
6,3	2,5	D-0,1					
10,0	4,0						
	5,0	D-0,2			D-0,04		
15,0	6,3						
20,0	8,0	D-1,0	D-0,15	D-0,05			
-	-	D-2,0	D-0,2	D-0,06			
-	-						

Длины инструментов выбирают в зависимости от условий обработки, технических требований, предъявляемых к детали и ее конструктивных особенностей. После выбора рассчитанных значений диаметров и длин, инструмент назначается по действующим стандартам и каталогам [8]. Из полученного набора инструментов для обработки всех отверстий детали исключают одинаковые. При наличии в наборе инструментов одного назначения и близких размеров рассматривают возможность выполнения соответствующих переходов одним инструментом.

Рекомендации по выбору марки инструментального материала в зависимости от обрабатываемого материала приведены в общемашиностроительных нормативах [5,6]. Для повышения надежности работы инструмента в неблагоприятных условиях (труднообрабатываемый материал, литье низкого качества) в этих нормативах предусмотрено использование различного конструктивного оформления режущей части, а также инструментов с износостойкими покрытиями [4].

С целью повышения точности обработки гладких отверстий на станках с ЧПУ можно принять во внимание следующие рекомендации.

1. Для повышения точности диаметрального размера и снижения шероховатости поверхности отверстия целесообразно применять

комбинированные осевые инструменты, такие как сверло-зенкер, развертка-раскатка, однолезвийная развертка, режуще-деформирующий инструмент и т. п.

2. При использовании инструментов для раскатывания, алмазного выглаживания и образования регулярного микрорельефа достигается резкое снижение шероховатости поверхности отверстия.

3. Применение плавающих, качающихся, плавающе-качающихся патронов и оправок или плавающих разверток, плавающих расточных блоков и т. п. позволяет сохранить ранее достигнутый малый допуск параллельности и перпендикулярности оси при повышении точности формы, размера и снижении шероховатости отверстия.

### **3.4. РЕЖИМЫ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ**

#### **3.4.1. Точение**

Сущность токарной обработки состоит в формировании цилиндрической поверхности инструментом с одной режущей кромкой, при этом, как правило, происходит вращение заготовки и перемещение резца. Во многих отношениях этот традиционный метод металлообработки является относительно простым для понимания. С другой стороны, этот широко распространенный процесс хорошо поддается оптимизации, путем тщательного изучения различных факторов, оказывающих на него влияние.

Процесс точения достаточно разнообразен по форме и материалам обрабатываемых деталей, типам операций, условиям обработки, требованиям, себестоимости и многим другим факторам.

Существует несколько основных типов токарных операций, в число которых входят резьбонарезание, обработка канавок, отрезка и растачивание, эффективное выполнение которых требует применения специально разработанного инструмента.

Точение можно отнести к числу самых простых операций по выбору типа инструмента, расчету режимов резания и программированию обработки.

Точение - это комбинация двух движений - вращения заготовки и перемещения инструмента. В некоторых случаях заготовка остается

неподвижной, а инструмент совершаet рабочее движение, но принцип остается тот же. Подача инструмента может быть направлена вдоль оси заготовки, что означает обработку диаметра заготовки (рис.3.13). В случае, когда инструмент перемещается в поперечном направлении к центру детали, происходит подрезка торца на определенную длину детали. Иногда подача является комбинацией этих двух перемещений, либо при резьбонарезании, либо при обработке криволинейных поверхностей, что осуществляется на станках с ЧПУ, имеющих разширенные возможности программирования траектории перемещения инструмента.

Заготовка вращается на станке с определенной частотой вращения шпинделя  $n$  (здесь и далее используется общепринятое в зарубежных изданиях кодирование технологических параметров металлообработки), об/мин. Частота вращения шпинделя прямо соотносится через диаметр обрабатываемой поверхности со скоростью резания  $V_c$  ( $V_c = \pi D_{заг} n / 1000$ , где  $D_{заг}$  – диаметр заготовки в мм), измеряемой в м/мин (рис. 3.14). Это скорость, с которой режущая кромка движется по поверхности заготовки.

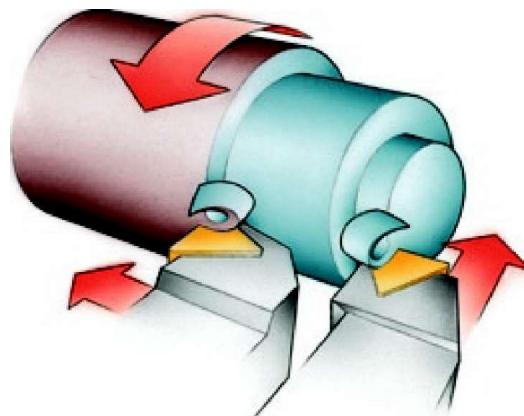


Рис. 3.13 Обработка заготовки точением

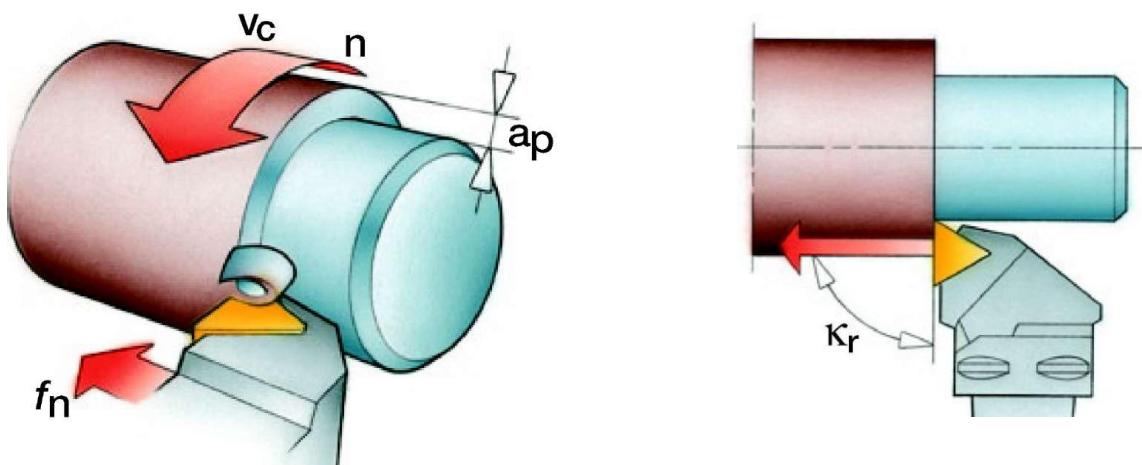


Рис. 3.14 Основные параметры точения.

Скорость резания является постоянной величиной лишь до того момента, пока частота вращения шпинделя или обрабатываемый диаметр остаются неизменными. При подрезке торца, например, когда подача инструмента направлена к центру заготовки, скорость резания будет постепенно снижаться при постоянной частоте вращения шпинделя. На современных станках с ЧПУ для того, чтобы сохранить постоянную скорость резания, предусмотрена возможность соответственного изменения частоты вращения шпинделя. Но при обработке очень маленьких диаметров и при максимальном приближении к оси заготовки это компенсация будет неосуществима, так как диапазон скоростей станка ограничен. В том случае, если заготовка имеет перепады диаметров, конусную или криволинейную поверхность, скорость резания необходимо назначать с учетом этих изменений.

Подача  $f_n$  в мм/об - это линейное перемещение инструмента за один оборот детали. Подача оказывает большое влияние на качество обработанной поверхности, а также на процесс стружкообразования. Она определяет не только толщину стружки, но и ее форму, в соответствии с геометрией пластины.

Глубина резания  $a_p$  - это половина разности между обрабатываемым диаметром и обработанным диаметром, выраженная в мм. Глубина резания всегда измеряется в направлении перпендикулярном направлению подачи инструмента.

Режущая кромка подходит к детали под определенным углом, который называется главный угол в плане  $k_r$ . Он измеряется между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и

направлением подачи и является важной величиной, определяющей выбор токарного инструмента. Он влияет на формообразование стружки, направление сил резания, длину контакта режущей кромки с деталью и на возможности инструмента выполнять те или иные виды обработки. Главный угол в плане обычно изменяется в диапазоне от 45 до 95 град., но для профильной обработки может использоваться инструмент и с большими значениями угла в плане.

Главный угол в плане выбирается таким образом, чтобы инструмент имел возможность вести обработку в нескольких направлениях. Это обеспечивает ему универсальность и, как следствие, сокращение числа необходимого инструмента. Другим вариантом может стать выбор инструмента с большим углом при вершине для повышения прочности режущей кромки путем распределения давления по большей длине кромки. Это добавляет прочности инструменту в момент начала и конца резания, а также способствует сбалансированному распределению сил в процессе работы.

Оптимизация процесса точения происходит не только в направлении повышения скорости снятия металла, но и с целью повышения контролируемости процесса, что в конечном итоге оказывается на качестве обрабатываемых деталей и надежности всей работы. Отделение стружки от заготовки происходит в соответствии с выбранными параметрами резания, которые и определяют ее форму и размер.

При обработке металла резанием необходимо не только получить деталь определенной формы, размера и требуемого качества обработанной поверхности, но и обеспечить образование короткой, легко транспортируемой стружки (рис. 3.15). Это особенно важно при высоких режимах обработки на современных станках с ЧПУ, когда в единицу времени образуется большой объем стружки и необходимо обеспечить безостановочную работу оборудования, безопасность оператора и не допустить повреждения обрабатываемой детали. Форма стружки может быть различной, в зависимости от обрабатываемого материала, и изменяется от длинной витой стружки, образующейся при резании вязких материалов до сыпучей стружки, образующейся от хрупких материалов.

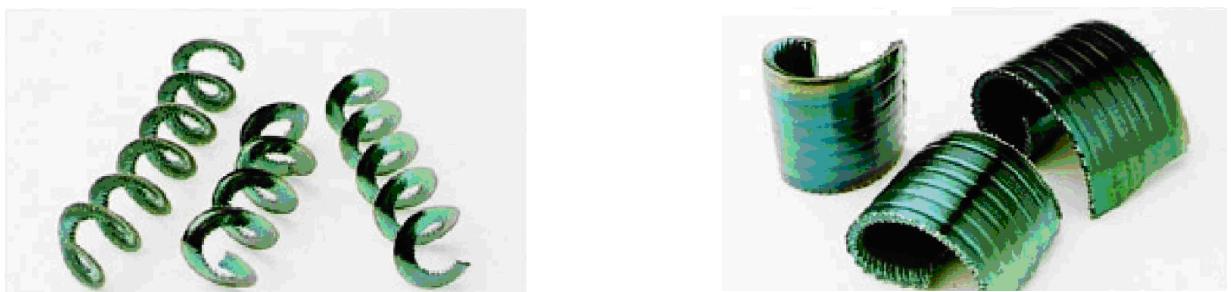


Рис.3.15 Форма стружки, типичная для чистовой и черновой обработки

Отделение стружки перпендикулярно обрабатываемой поверхности происходит в том случае, когда направление подачи и ось вращения заготовки образует прямой угол с главной режущей кромкой. Этот несложный вид обработки встречается только на некоторых операциях, таких как отрезка и врезание. Большинство операций точения происходит в условиях, когда главная режущая кромка расположена под определенным углом к направлению резания. Это изменение геометрических параметров влечет за собой изменение направления схода стружки. Чаще всего стружка имеет форму запятых или винтовых спиралей, в отличие от стружки, образующейся при отрезке и имеющей форму цилиндрической спирали.

На образование стружки большое влияние оказывают главный угол в плане и радиус при вершине инструмента. При уменьшении главного угла в плане толщина стружки уменьшается, а ее ширина растет. Направление схода стружки также изменяется, обычно в лучшую сторону, так как увеличивается шаг спирали. Форма и направление схода стружки также изменяются в зависимости от глубины резания и радиуса режущей кромки. При небольшом соотношении глубины резания и радиуса при вершине, в резании будет участвовать только радиусная часть пластины и будет образовываться спиралевидная стружка. Большая глубина резания уменьшит влияние радиуса при вершине и увеличит действие главного угла в плане на направления схода спиральной стружки. Величина подачи также влияет на ширину поперечного сечения стружки и на направление схода.

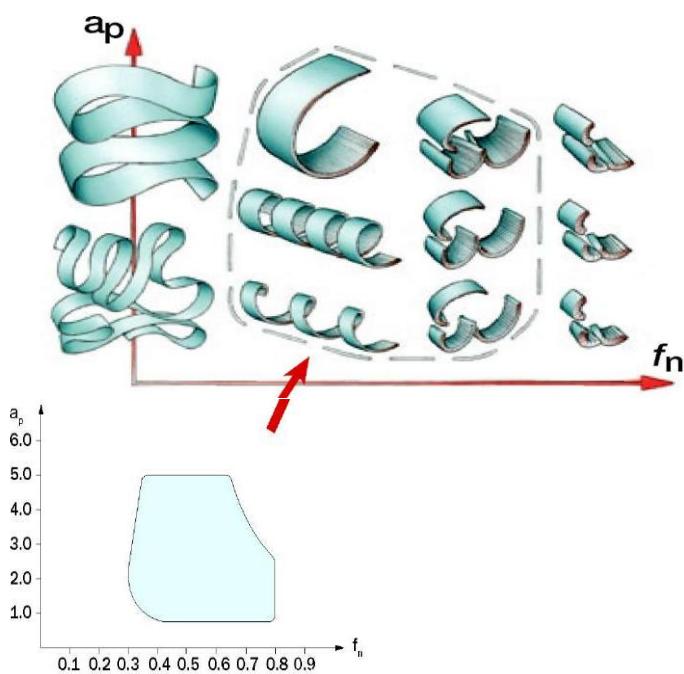


Рис.3.16. Рабочая область применения пластины, определяемая сочетанием подачи и глубины резания, обеспечивающим удовлетворительное стружколомание

назначается выше допустимого значения, стружка проходит над стружколомающей канавкой и упирается в выступы. В результате этого резание будет осуществляться негативной геометрией, вместо позитивной, с нестабильным стружкообразование.

Чистовые пластины, работающие с областью, непосредственно прилегающей к режущей кромке, будут иметь стружколомающую канавку и выступы, сконцентрированные у вершины пластины, а у черновых пластин элементы стружколомающей геометрии будут распределяться по большей части передней поверхности.

Некоторые пластины способны обеспечивать удовлетворительное стружкообразование в достаточно широком режимном диапазоне благодаря определенному сочетанию стружколомов, являющихся переходом от радиусной части пластины к широкой.

Способ стружколомания (рис. 3.17) частично зависит от геометрии пластины и инструмента, и от режимов резания. Любой из видов стружколомания может приводить к нежелательным последствиям, но их можно избежать, выбрав соответствующие геометрию и режимные параметры. В случае самоломания стружки, при недостаточной стойкости инструмента рекомендуется

Квадратная в поперечном сечении стружка обычно свидетельствует о чрезмерной нагрузке на режущую кромку, а широкая стружка будет формироваться в нежелательные длинные ленты (рис. 3.16). Когда завиток стружки становится меньше и утолщается, увеличивается длина контакта между стружкой и инструментом, с ростом давления и деформации. Чрезмерная толщина стружки оказывает негативное влияние на процесс обработки.

Когда подача

использовать геометрию с более открытым стружколомом. Когда стружка ломается от соприкосновения с задней поверхностью инструмента, это может привести к повреждению сходящей стружкой режущей кромки на другой стороне пластины и необходимо выбрать пластину с другой геометрией передней поверхности (более прочной или с более открытым стружколомом).

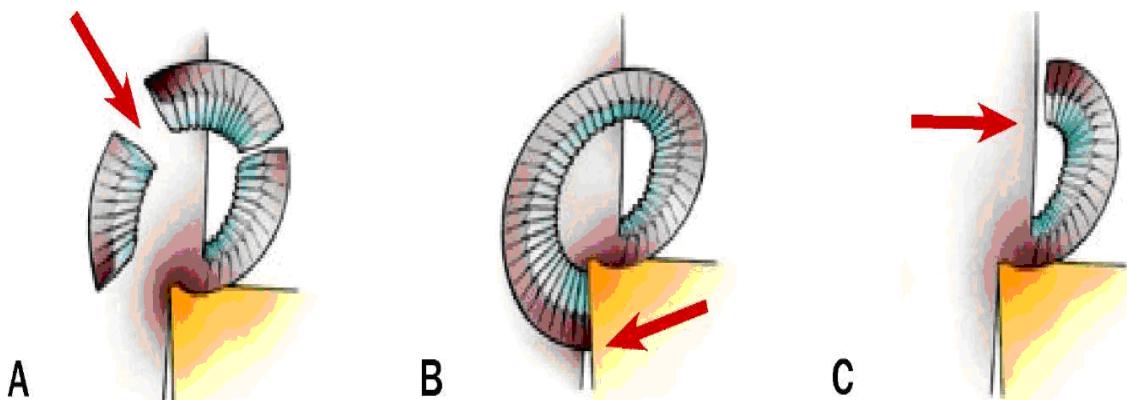


Рис. 3.17 Способы стружколомания: А- стружка ломается сама в процессе резания, В- стружка ломается от соприкосновения с инструментом, С- стружка ломается от соприкосновения с металлом.

В случае облома стружки о деталь при обработке с большой подачей может возникнуть недостаточное разлетание стружки и необходимо выбрать меньший главный угол в плане.

Альтернативным решением может быть изменение подачи.

Материалы, дающие короткую стружку, нуждаются в небольшом стружколоме или могут обойтись без него, а для обработки вязких материалов необходима пластина со стружколомающей геометрией для деформации стружки в процессе резания. В начальный момент резания, как правило, не происходит ломания стружки. Стружколом является по своей сути встроенным препятствием на пути схода стружки (рис. 3.18). В таком грубом виде он может оказывать негативное воздействие на процесс обработки.

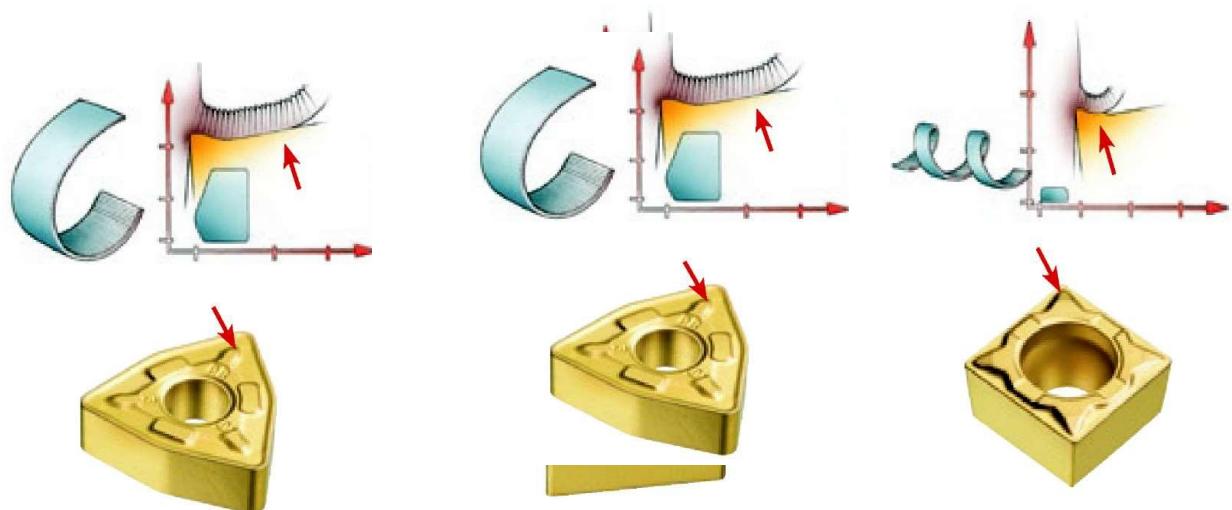


Рис. 3.18. Стружколомы и соответствующие им диаграммы стружколомания

В процессе совершенствования геометрии сменных пластин появлялись различные формы стружколомов, сначала получаемые методом вышлифовывания, а позже формируемые при прессовании и последующем спекании пластины. Современная сменная пластина представляет собой сложное сочетание углов, плоскостей и радиусов для обеспечения оптимального стружкоформирования в процессе резания.

Контроль за стружкой - это один из важнейших факторов, особенно при точении и сверлении. При фрезеровании процесс резания прерывистый и стружка естественным образом разделяется на части. При сверлении и растачивании контроль за формированием стружки необходим из-за ограниченного пространства внутри обрабатываемого отверстия. В процессе высокопроизводительного сверления необходимо обеспечить формирование стружки строго определенной формы для эффективного удаления ее из зоны резания, накопление стружки в которой может привести к поломке инструмента.

Диаграмма удовлетворительного стружколомания для выбранной геометрии пластины (основанная на рекомендуемых значениях подач и глубин резания) и инструментальный материал пластины определяют ее область применения (рис. 3.19 ).

Современный ассортимент пластин включает режущие геометрии, предназначенные для обработки большинства существующих материалов. Геометрии специализированы для чистовых, получистовых и черновых операций, а также для тяжелого чернового точения.

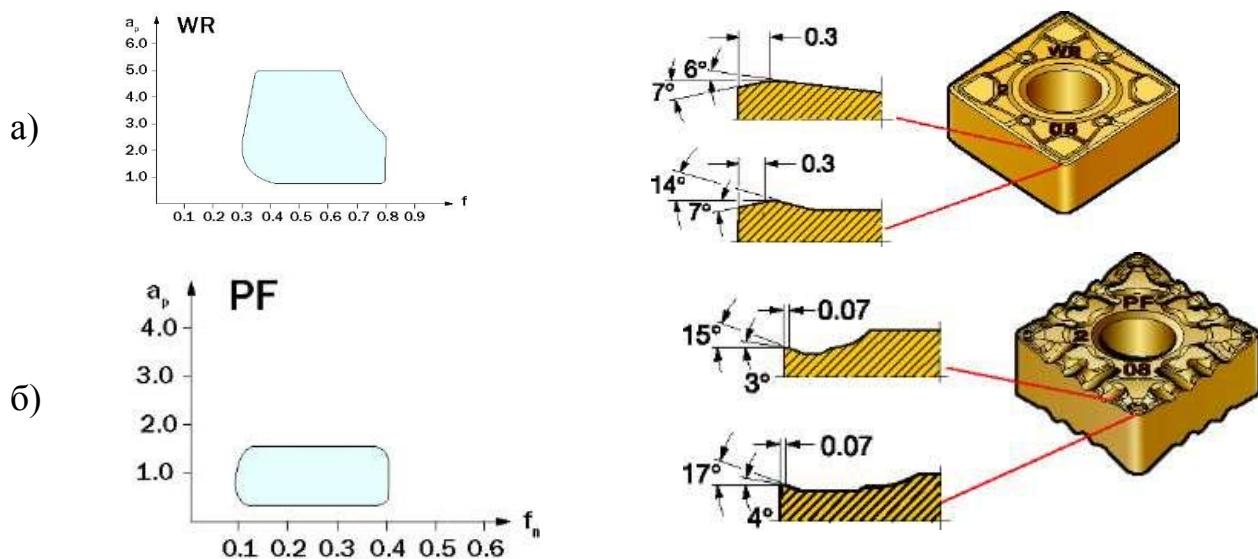


Рис. 3.19. Область удовлетворительного стружколомания типичная для черновой (а) и чистовой (б) пластин

Таким образом, контроль за стружкообразованием происходит посредством комбинации геометрии пластины и режимов обработки.

### 3.4.2. Фрезерование

Фрезерование - это резание материала инструментом, имеющим главное движение вращение и хотя бы одно движение подачи. Фрезы обычно являются многолезвийным инструментом. Фрезерование - эффективный метод обработки, при котором каждая из режущих кромок фрезы снимает одинаковое количество материала. Наиболее часто фрезерование применяется для обработки плоских поверхностей (рис. 3.20). Но также быстро растет роль фрез в обработке сложных криволинейных поверхностей на обрабатывающих центрах и станках многоцелевого назначения.

Фреза обычно совершает резание в одном или нескольких направлениях: (А) радиальном, (В) периферийном и (С) осевом (рис. 3.21). Каждый способ фрезерования можно разложить на эти три основные перемещения в сочетании с вращением фрезы.

При торцевом фрезеровании в работе участвует как периферия, так и торец инструмента. Фреза вращается вокруг вертикальной оси в плоскости, перпендикулярной направлению подачи стола.

Фрезы, в основном, работают периферийной частью режущих кромок. При этом фреза вращается вокруг оси, параллельной плоскости детали.

При плунжерном фрезеровании в работе участвует торцевая часть режущей кромки или торец концевого инструмента. Подача направлена вдоль оси фрезы, обработка имеет сходство с процессом сверления.

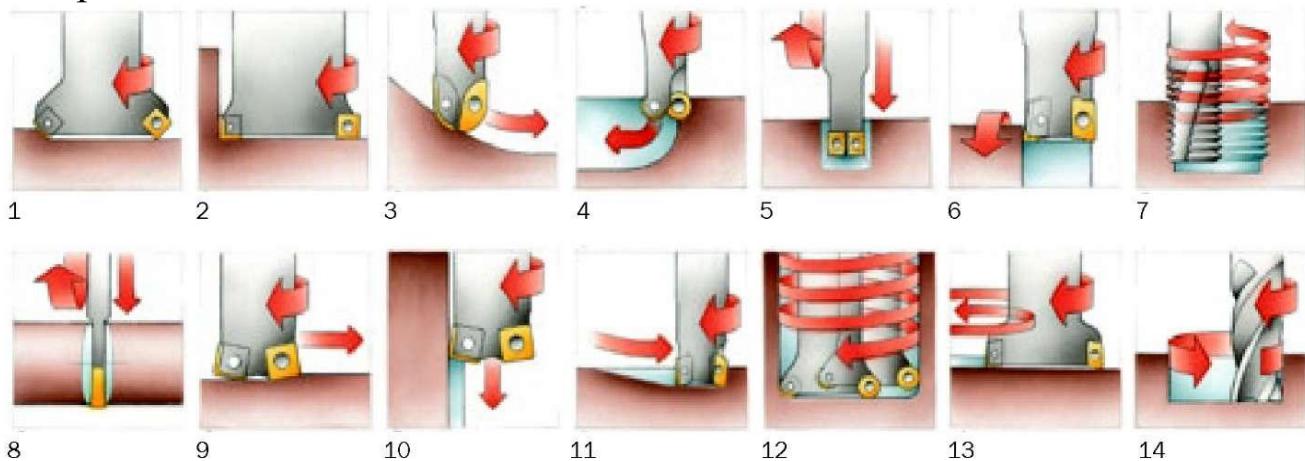


Рис.3.20. Основные типы фрезерных операций с точки зрения формы обрабатываемой поверхности и способа перемещения инструмента: 1-торцевое фрезерование; 2- фрезерование уступов; 3- профильное фрезерование; 4- фрезерование карманов; 5- фрезерование пазов; 6- фрезерование поверхностей вращения; 7- резьбофрезерование; 8- отрезка; 9- фрезерование с большими подачами; 10- плунжерное фрезерование; 11- фрезерование с врезанием; 12- винтовая интерполяция; 13- круговая интерполяция; 14- трохоидальное фрезерование

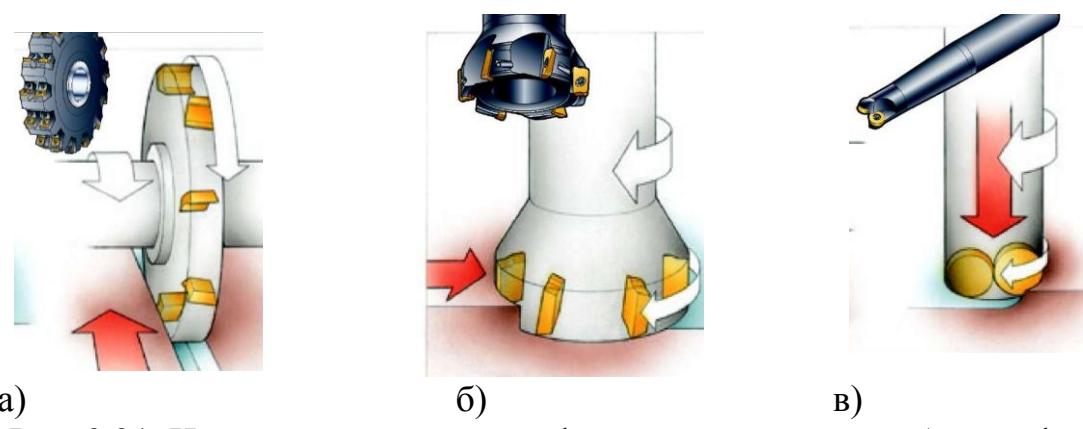


Рис. 3.21. Направления движения фрезы: а -радиальное, б –периферийное, в- осевое

При подготовке фрезерной операции необходимо иметь в виду следующие параметры фрезы. Номинальный диаметр фрезы ( $D_c$ ),

максимальный диаметр ( $D_{c2}$  или  $D_3$ ), эффективный диаметр ( $D_e$ ), используемый для определения скорости резания (рис. 3.22).

*Скорость резания*  $v_c$ , м/мин - это окружная скорость перемещения режущих кромок фрезы. Эта величина определяет эффективность обработки и лежит в рекомендованных для каждого инструментального материала пределах.

*Частота вращения шпинделя*  $n$ , мм/об, равняется числу оборотов фрезы в минуту. Вычисляется в соответствии с рекомендованной для данного типа обработки скоростью резания.

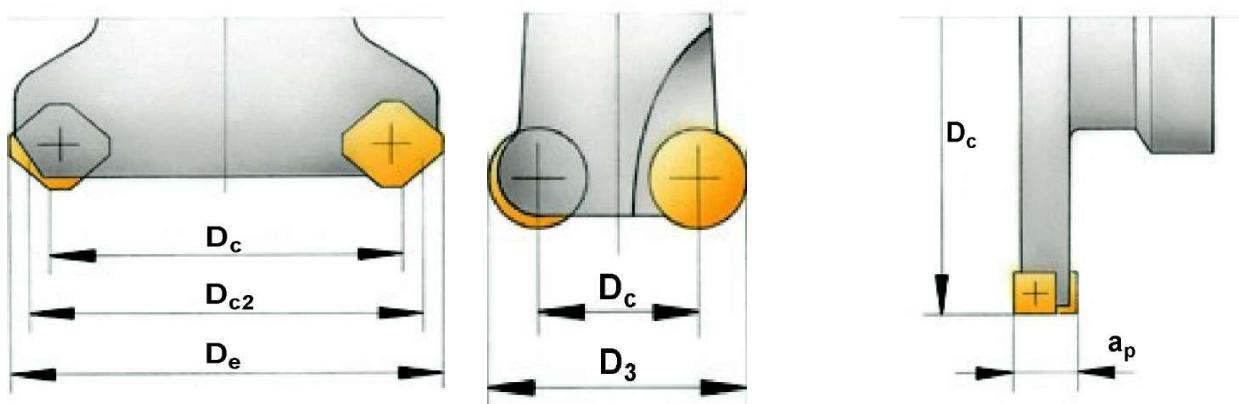


Рис. 3.22. Геометрические параметры фрезы

*Подача на зуб*  $f_z$ , мм/зуб (рис. 3.23), используется для расчета минутной подачи. Это расстояние между траекториями движения двух смежных зубьев, измеренное в направлении подачи. Так как фрезы являются многозубым инструментом, необходимо знать толщину срезаемого слоя, приходящуюся на каждый зуб. Подача на зуб рассчитывается исходя из максимально рекомендуемой толщины стружки.

*Число зубьев* фрезы  $z_n$  может быть различно и влияет на величину минутной подачи. Выбор числа зубьев определяется обрабатываемым материалом, шириной фрезерования, условиями обработки, мощностью оборудования и требуемым качеством поверхности. Также при выборе числа зубьев необходимо рассчитывать эффективное число зубьев  $z_C$ , т.е. число зубьев, одновременно находящихся в резании.

*Подача на оборот*  $f_n$  (рис. 3.23), мм/об, зачастую является определяющим ограничивающим параметром в отношении чистовой обработки. Она равна относительному смещению фрезы и заготовки за один оборот фрезы.

*Глубина резания*  $a_p$  (рис. 3.23), мм - это расстояние между обработанной и еще необработанной поверхностями, измеряемое вдоль оси фрезы.

*Ширина фрезерования*  $a_e$  (рис. 3.23), мм - это величина срезаемого припуска, измеренная в радиальном направлении или ширина контакта заготовки и инструмента.

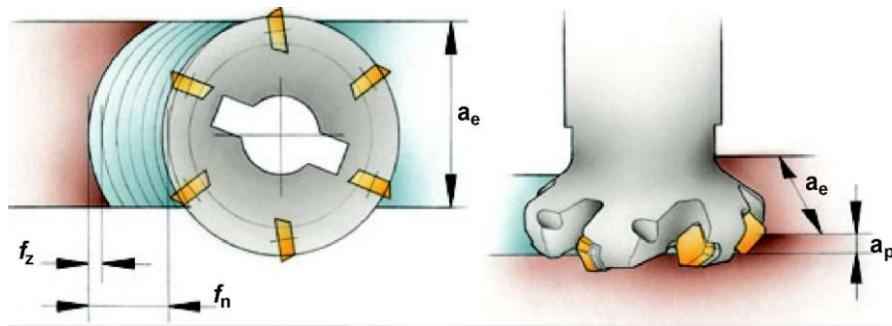


Рис. 3.23. Геометрические параметры фрезерования

Основным геометрическим параметром фрез является *главный угол в плане*  $k_r$ . Он измеряется между периферийной режущей кромкой и плоскостью торца фрезы и определяет направление сил резания и толщину срезаемой стружки. Выбор геометрии пластин условно упрощен до трех областей, различающихся характером резания: легкая геометрия – L(острая режущая кромка с положительными углами, стабильный процесс резания, малые подачи, низкая потребляемая мощность, низкие усилия резания), средняя геометрия – M(универсальная положительная геометрия, средние величины подач) и тяжелая геометрия – H(наибольшая надежность режущей кромки, большие подачи) (рис. 3.24).

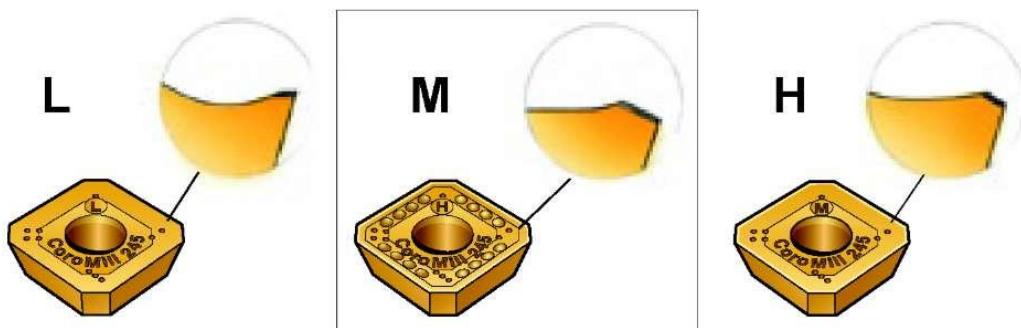


Рис. 3.24. Типы геометрии пластин (по классификации фирмы «Сандвик»): легкая геометрия –L, средняя геометрия –M, тяжелая геометрия -H

### 3.4.3. Получение отверстий

Основным способом получения отверстий является сверление. Сверление - это процесс изготовления цилиндрических отверстий посредством металлорежущего инструмента. Сверление, как правило, предшествует таким операциям как растачивание или развертывание. Общим для всех этих операций является сочетание вращательного и поступательного движения инструмента. Существует большое различие между сверлением отверстий небольшой глубины и глубоких отверстий, для обработки которых разработаны специальные методы, позволяющие сверлить отверстие глубиной, во много раз превышающей диаметр инструмента.

С развитием инструмента для обработки коротких отверстий последовательность процесса сверления и подготовка к нему претерпевают существенные изменения. Современный инструмент позволяет засверливаться в сплошной материал и не нуждается в предварительной зацентровке отверстий. Достигается высокое качество поверхности и, зачастую, отпадает необходимость в последующей чистовой обработке отверстия.

В некотором смысле сверление можно сравнить с операциями точения и фрезерования, но при сверлении уделяется большее значение эвакуации стружки. Обработка в ограниченном пространстве отверстия накладывает повышенные требования в отношении контроля за стружкообразованием.

Сверление в сплошном материале является одним из наиболее распространенных методов изготовления отверстия заданного диаметра за одну операцию (рис. 3.25 (а)).

Трепанирующее сверление используется, в основном, при обработке отверстий большого диаметра, так как этот метод не требует таких затрат мощности, как сверление сплошного материала. Трепанирующие сверла превращают в стружку не весь материал отверстия, а оставляют целым сердцевину отверстия и, следовательно, предназначены только для обработки сквозных отверстий (рис. 3.24 (б)).

Растачивание - это процесс увеличения диаметра отверстия инструментом специальной формы (рис. 3.25 (в)).

Развертывание - это процесс, использующий много- или однолезвийный инструмент для повышения точности формы и

размеров отверстия, а также снижения шероховатости поверхностей (рис. 3.25 (г)).

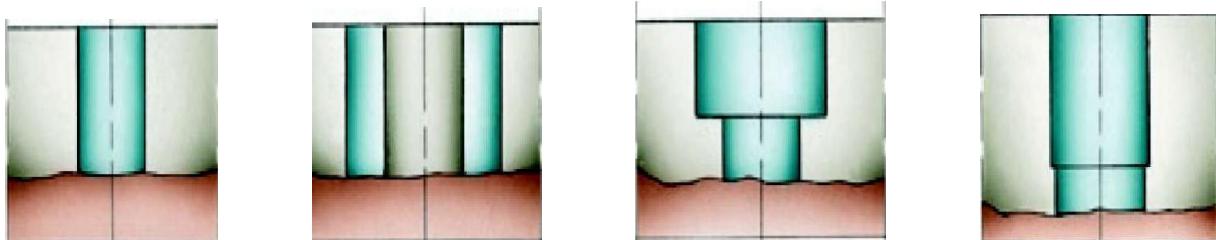


Рис. 3.25. Обработка отверстий: а – сверление; б - трепанирующее сверление; в – растачивание; г – развертывание.

Режимы резания при сверлении задаются такими параметрами, как скорость резания, подача на оборот, скорость подачи или минутная подача (рис. 3.26).

*Скорость резания ( $v_c$ )* выражается в м/мин и определяет скорость на периферии сверла. Скорость резания изменяется вдоль режущей кромки от максимума на периферии до нуля на оси сверла. Рекомендуемые значения скорости относятся к скорости на периферии сверла.

*Подача на оборот ( $f_n$ ),* измеряемая в мм/об, определяет величину осевого перемещения инструмента за один его оборот и используется для вычисления скорости осевой подачи сверла.

*Скорость подачи или минутная подача ( $v_f$ ),* измеряемая в мм/мин, это подача инструмента по отношению к пройденному им пути в единицу времени. Другое название этой величины – машинная подача, или подача стола. Скорость, с которой сверло проникает в заготовку, равняется произведению подачи на оборот и скорости вращения шпинделя.

Основные факторы, характеризующие операцию сверления:

- диаметр отверстия;
- глубина отверстия;
- точность и качество поверхности;
- обрабатываемым материал;

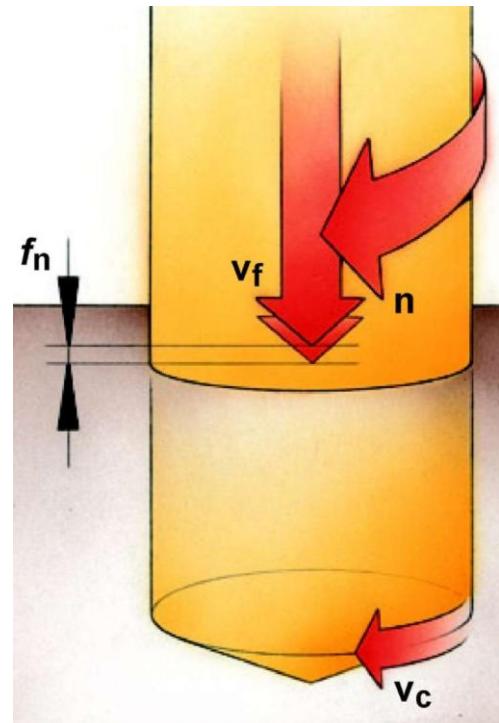


Рис. 3.26. Основные параметры при сверлении.

- условия обработки;
- надежность обработки;
- производительность.

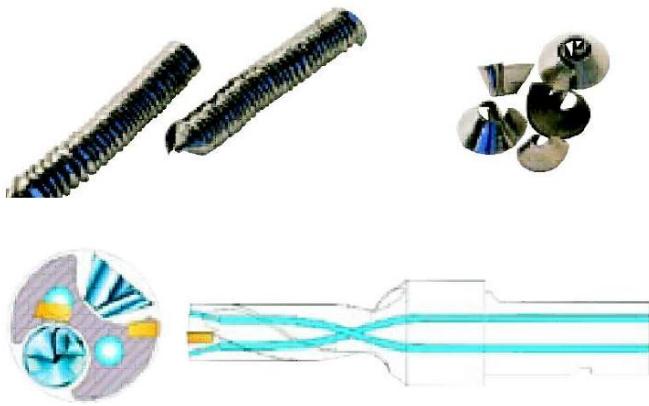


Рис.3.27. Образование и эвакуация стружки, подвод СОЖ

Образование стружки с формой и размерами, позволяющими легко удалять ее из отверстия, является первоочередным вопросом при рассмотрении любой операции сверления (рис. 3.27). Без удовлетворительной эвакуации стружки работа сверла станет невозможной вследствие забивания стружечных каналов и закупоривания сверла внутри отверстия.

Высокопроизводительная обработка отверстий современными сверлами возможна только при обеспечении беспрепятственного отвода стружки посредством использования достаточного количества охлаждающей жидкости.

Большинство коротких сверл имеет две стружечные канавки для эвакуации стружки. Современное оборудование и инструмент позволяют осуществлять подвод СОЖ по внутренним каналам в сверле, через которые она поступает непосредственно в зону резания, уменьшая действие сил трения и вымывая стружку из отверстия.

Стружкообразование зависит от типа обрабатываемого материала, геометрии инструмента, режимов резания и, в некоторой степени, от выбранной охлаждающей жидкости. Обычно мелкая стружка образуется при увеличении подачи и/или уменьшении скорости резания. Длина и форма стружки считаются удовлетворительными, если они позволяют гарантированно удалять ее из обрабатываемого отверстия.

Поскольку скорость резания уменьшается от периферии к центру, вершина сверла не будет участвовать в резании. На вершине сверла передний угол отрицательный и скорость резания равна нулю, а это означает, что она будет просто давить материал, что повлечет за собой появление пластической деформации. В свою очередь, это приведет к увеличению осевой силы резания. Если оборудование не имеет

достаточной мощности и жесткости, появляется биение шпинделя и, в результате, форма отверстия может получиться овальной.

Применение современных сверл со сменными пластинами позволяет вести обработку с высокими скоростями и большими объемами образующейся стружки, которая вымывается из отверстия потоками охлаждающей жидкости, подающейся под определенным давлением по внутренним каналам. Необходимые давление (МПа) и объем (л/мин) СОЖ зависят от диаметра отверстия, а также от условий обработки и типа материала заготовки.

При внутреннем подводе СОЖ для вращающегося сверла ее давление должно быть выше, по сравнению со сверлом невращающимся, из-за влияния центробежной силы. В этом случае рекомендуется компенсировать недостаток давления дополнительным объемом жидкости. Определенные потери давления при прохождении по трубопроводам должны также учитываться при подводе СОЖ.

Для выбора сверла необходимо:

1. Определить диаметр, глубину и требования по качеству поверхности отверстия (принимаются во внимание вопросы надежности обработки).
2. Выбрать тип сверла (выбрать сверло для черновой или чистовой обработки, в соответствии с обрабатываемым материалом и требованиями к качеству отверстия, и обеспечивающее максимальную экономичность обработки ).
3. Выбрать марку сплава и геометрию (при использовании сверл со сменными пластинами, пластины должны быть выбраны отдельно, в соответствии с диаметром сверла, геометрией и сплавом, предназначенными для обработки данного материала; для цельных сверл и сверл с напаянным твердым сплавом достаточно выбрать марку твердого сплава).
3. Выбрать тип хвостовика (выбрать тот тип, который подходит для используемого оборудования).

#### **3.4.4. Рекомендуемые режимы резания**

Увеличение надежности обработки при использовании предельных глубины резания и подачи может быть достигнуто путем устранения технологических перегрузок, возникающих обычно в момент врезания и выхода инструмента из зоны резания. Система ЧПУ

позволяет автоматически менять величину подачи на этих переходах цикла. Производительность и надежность повышают также путем рационального выбора скорости резания.

Опыт эксплуатации станков с ЧПУ показывает, что скорость резания следует выбирать с учетом особенностей автоматизированных технологических процессов. Рабочие ходы и переходы каждого инструмента осуществляют с различной глубиной резания, подачей и скоростью при различных направлениях перемещения. Каждый инструмент в течение периода стойкости обрабатывает различные поверхности деталей из одинаковых или различных материалов. Каждый рабочий ход выполняется на режимах, обеспечивающих более полное применение станка и инструмента. Инструменты используются в составе различных многоинструментальных наладок, причем меньшую часть инструментов заменяют при смене обрабатываемой детали, а большую – по мере затупления.

Указанные особенности технологического процесса существенно влияют на характер износа и выбор скорости резания.

Для выбора режимов резания на станках с ЧПУ используют специальные справочники – общемашиностроительные нормативы режимов резания, разработанные для различных видов режущих инструментов (концевых фрез, резцов с механическим креплением твердосплавных пластин и т. д.).

В табл. 3.5, 3.6, 3.7 указаны рекомендуемые при точении и фрезеровании режимы резания, предлагаемые компанией Sandvik.

Таблица 3.5

Рекомендации по выбору скоростей резания при точении (с применением СОЖ)

ISO СМС Код	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания $k_c$ 0.4 Н/мм <sup>2</sup>	Твердост ь по Бринелл ю НВ	<<< ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ		
				CT5005	CT5015	GC1525
				подача $f_n$ , мм/об при $k_r$ 90°-95°		
				0.05-0.1-0.2	0.05-0.1-0.2	0.05-0.1-0.2
		Скорость резания ( $V_c$ ), м/мин				
СТАЛЬ	Нелегированная сталь					
	01.1 C = 0.1-0.25%	2000	125	730-590-485	650-540-440	560-465-380
	01.2 C = 0.25-0.55%	2100	150	650-530-420	570-480-385	495-415-335
	01.3 C = 0.55-0.80%	2200	170	-	510-425-340	430-365-295
	Низколегированная сталь (легирующих элементов <5%)					
	02.1 В состоянии поставки (сырая)	2150	180	530-450-360	480-400-320	375-320-255
	02.12 Подшипниковая сталь	2300	210	-	-	-
	02.2 Закаленная и отпущеная	2550	275	395-325-250	285-235-190	200-165-135
	02.2 Закаленная и отпущеная	2850	350	320-260-200	230-190-150	160-135-110
	Высоколегированная сталь (легирующих элементов >5%)					
	03.11 Отожженная	2500	200	-	395-330-250	260-215-175
	03.21 Закаленная инструментальная сталь	3900	325	-	195-165-130	145-115-90
	Стальное литье					
	06.1 Нелегированное	2000	180	-	260-215-175	225-185-145
	06.2 Низколегированное (легирующих элементов <5%)	2100	200	-	270-225-170	175-145-105
	06.3 Высоколегированное (легирующих элементов >5%)	2650	225	-	200-165-125	140-115-85

Продолжение табл. 3.5

ISO	CMC Код	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания $k_c$ =0.4 Н/мм <sup>2</sup>	Твердост ь по Бринелл ю HV	<<< ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ		
					GC1525	GC1005	GC1105
					подача $f_n$ , мм/об при $k_r$ 90°-95°		
					0.1-0.2	0.1-0.2-0.3	0.1-0.2-0.3
						Скорость резания ( $V_c$ ), м/мин	
M		Ферритная, мартенситная Прутки. Поковки					
НЕРЖАВЕЮЩАЯ СТАЛЬ	05.11	Незакаленная	2300	200	290-240	380-305-245	380-305-245
	05.12	Дисперсионно-твердеющая	3550	330	170-150	350-280-225	350-280-225
	05.13	Закаленная	2850	330	170-150	245-195-160	245-195-160
		Аустенитная Прутки, поковки					
	05.21	Незакаленная	2300	180	220-195	410-330-265	410-330-265
	05.22	Дисперсионно-твердеющая	3550	330	195-170	220-175-145	220-175-145
	05.23	Сверхаустенитная	2950	200	145-130	245-200-160	245-200-160
		Аустенитно-ферритная (Дуплекс)Отливки					
	05.51	Несвариваемая > 0.05%С	2550	230	-	315-255-205	315-255-205
	05.52	Свариваемая < 0.05%С	3050	260	-	280-225-185	280-225-185
		Ферритная, мартенситная Отливки					
	15.11	Незакаленная	2100	200	-	-	-
	15.12	Дисперсионно-твердеющая	3150	330	-	-	-
	15.13	Закаленная	2650	330	-	-	-

Продолжение табл. 3.5

	Аустенитная Отливки						
15.21	Незакаленная	2200	180	-	-	-	-
15.22	Дисперсионно-твердеющая	3150	330	-	-	-	-
15.23	Сверхаустенитная	2700	200	-	-	-	-
	Аустенитно-ферритная (Дуплекс) Отливки						
15.51	Несвариваемая > 0.05%С	2250	230	-	-	-	-
15.52	Свариваемая < 0.05%С	2750	260	-	-	-	-
ISO CMC Код	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания $k_c$ 0.4 Н/мм <sup>2</sup>	Твердост ь по Бринелл ю НВ	<<< ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ			
				CB7050/CB50	CC620	CC650	
				подача $f_n$ , мм/об при $k_r$ 90°-95°			
				0.1-0.25-0.4	0.1-0.25-0.4	0.1-0.25-0.4	
				Скорость резания ( $V_c$ ), м/мин			
K	Ковкий чугун						
07.1	Ферритный (элементная стружка)	940	130	-	800-700-600	800-700-600	
07.2	Перлитный (сливная стружка)	1100	230	-	700-590-500	700-600-500	
	Серый чугун						
08.1	Низкой прочности	1100	180	1700-1450-1200	800-700-600	800-700-600	
08.2	Высокой прочности	1150	220	1450-1250-1050	760-650-540	760-650-540	
	Серый чугун с шаровидным графитом						
09.1	Ферритный	1050	160	-	-	610-550-450	
09.2	Перлитный	1750	250	-	-	510-450-350	
09.3	Мартенситный	2700	380	-	-	350-305-260	

ISO N	СМС Код Обрабатываемый материал	Удельная сила резания $k_c$ 0.4 Н/мм <sup>2</sup>	Твердост ь по Бринелл ю HB	<<< ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ		
				CD10	CD1810	H10
				подача $f_n$ , мм/об при $k_r$ 90°-95°		
				0.05-0.4	0.15-0.8	0.15-0.8
Скорость резания ( $V_c$ ), м/мин						
ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ	Алюминиевые сплавы					
	30.11 Деформируемые, в т. ч. в холодном состоянии не подвергнутые старению	500	60	2 000(2500-250)	2000 (2500-250)	2000(2500-250)
	30.12 Деформируемые, в т.ч. подвергнутые старению	800	100	2 000(2500-250)	2000(2500-250)	2000(2500-250)
	Алюминиевые сплавы					
	30.21 Литье, не подвергнутое старению	750	75	2000(2500-250)	2000(2500-250)	2000(2500-250)
	30.22 Литье, в т. ч. подвергнутое старению	900	90	2000(2500-250)	2000(2500-250)	2000(2500-250)
	Алюминиевые сплавы					
	30.41 Литье, 13-15% Si	950	130	1550 (1950-195)	770 (960-95)	450(560-55)
	30.42 Литье, 16-22% Si	950	130	770 (960-95)	510 (640-65)	300(375-38)
	Медь и медные сплавы					
33.1	Легкообрабатываемые сплавы, >1% Pb	700	110	500 (630-65)	500 (630-65)	500(630-65)
	33.2 Латунь, свинцовистая бронза, <1% Pb	700	90	500 (630-65)	500 (630-65)	500 (630-65)
	33.3 Бронза без добавок свинца и медь, в т.ч. электролитическая	1750	100	300 (375-38) <sup>1)</sup>	300 (375-38) <sup>1)</sup>	300 (375-38)

Продолжение табл. 3.5

ISO СМС Код	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания $k_c$ 0.4 Н/мм <sup>2</sup>	Твердост ь по Бринелл ю НВ	<<< ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ		
				CC650	CC6060	CC6065
				<b>подача <math>f_n</math>, мм/об при <math>k_r</math>, 90°-95°</b>		
				0.1 - 0.2	0.1-0.2-0.3	0.1-0.2-0.3
				<b>Скорость резания (Vc), м/мин</b>		
S	Жаропрочные сплавы:					
	на основе железа					
20.11	Отжиг или отпуск в расплаве солей	3000	200	-	-	-
20.12	Подвергнутые старению, в т.ч. после отжига в расплаве солей	3050	280	-	-	-
	на основе никеля					
20.21	Отжиг или отпуск в расплаве солей	3300	250	400-320	400-325-270	330-255-200
20.22	Подвергнутые старению, в т.ч. после отжига в расплаве солей	3600	350	340-265	300-235-190	240-175-130
20.24	Литье, в т. ч. подвергнутое старению	3700	320	220-160	240-205-175	215-180-150
	на основе кобальта					
20.31	Отжиг или отпуск в расплаве солей	3300	200	345-260	-	-
20.32	Старение после отжига в расплаве солей	3700	300	300-225	-	-
20.33	Литье, в т. ч. подвергнутое старению	3800	320	285-225	-	-
				H10	H10A	H13A
	Титановые сплавы		Rm	0.1-0.2-0.3	0.1-0.3-0.5	0.1-0.3-0.5
23.1	Технически чистый титан (99.5% Ti)	1550	400	205-170-145	195-160-135	180-150-125
23.21	$\alpha$ , близкие $\alpha$ и $\alpha + \beta$ сплавы, отожжен.	1700	950	85-70-55	80-65-55	75-60-50
23.22	$\alpha + \beta$ сплавы, подвергнутые старению, $\beta$ сплавы, отожжен. или подвергнутые старению	1700	1050	80-60-50	80-60-50	70-55-45

Окончание табл. 3.5

<i>ISO</i>	<i>CM C Код</i>	<b>Обрабатываемый материал</b>	Удельная сила резания $k_c$ 0.4 Н/мм <sup>2</sup>	Твердост ь по Бринелл ю HB	<b>&lt;&lt;&lt; ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ</b>		
					<i>CB7015</i>	<i>CB7025</i>	<i>CB20</i>
					<b>подача <math>fn</math>, мм/об при <math>\alpha_r = 90^\circ - 95^\circ</math></b>		
					0.05-0.15-0.25	0.05-0.15-0.25	0.05-0.15-0.25
<b>Скорость резания (VC), м/мин</b>							
<i>H</i>		Сверхтврдая сталь					
<b>Материалы высокой тврдости</b>	04.1	Закаленная и отпущеная	3250	<i>45HRC</i>	-	-	-
	04.1		3950	<i>50HRC</i>	350-265-225	250-210-185	260-230-205
	04.1		4700	<i>55HRC</i>	295-225-185	210-175-155	215-195-170
		Закаленная сталь					
	04.1	Закаленная и отпущеная	5550	<i>60HRC</i>	250-190-160	180-150-135	185-165-145
	04.1		6450	<i>65HRC</i>	215-165-135	155-130-115	160-140-125

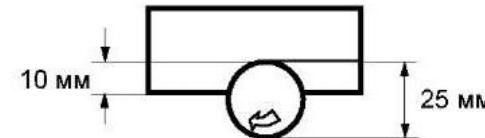
Таблица 3.6

Рекомендации по выбору скоростей резания при фрезерование с малой шириной контакта

Условия обработки:

Фреза смещена относительно обрабатываемой детали.

Диаметр фрезы 25 мм. Величина перекрытия 10 мм.



ISO	СМС Код	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания кс 1 Н/мм <sup>2</sup>	Твердость по Бринеллю НВ	CT530	GC1025
					Max толщина стружки, h <sub>ex</sub> мм	
					0.1 - 0.15 - 0.2	0.05 - 0.1 - 0.2
					Скорость резания v <sub>c</sub> , м/мин	
P	01.1	Сталь нелегированная C = 0.10 -0.25%	1500	125	500 -490 -475	365 -360 -345
	01.2	C = 0.25-0.55% C = 0.55-0.80%	1600 1700 1800 2000	150 170 210 300	450 -440 -430 425 -415 -405 370 -360 -355 275 -265 -260	330 -325 -310 310 -305 -290 270 -265 -255 200 -195 -190
	02.1	Низколегированная (легирующих элементов <5%)	1700	175	350 -345 -335	260 -250 -240
	02.2	Незакаленная Закаленная и отпущеная	1900	300	230 -225 -220	170 -165 -160
	03.11	Высоколегированная (легирующих эл-тов >5%)	1950	200	265 -260 -255	195 -190 -185
	03.13	Отожженная Закаленная инструментальная сталь	2150 2900	200 300	220 -215 -210 195 -190 -185	160 -160 -150 140 -140 -135
	06.1	Стальное литье				
	06.2	Нелегированное	1400	150	355 -350 -340	265 -255 -245
	06.3	Низколегированное (легирующих элементов <5%) Высоколегированное (легирующих эл-тов >5%)	1600 1950	200 200	285 -280 -275 210 -205 -200	210 -205 -195 155 -150 -145

Продолжение табл. 3.6

ISO	СМС Код	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания кс 1 Н/мм <sup>2</sup>	Твердость по Бринеллю НВ	CT530	GC1025
					Max толщина стружки, h <sub>ex</sub> мм	
					0.1 - 0.15 - 0.2	0.05 - 0.1 - 0.2
					Скорость резания v <sub>c</sub> , м/мин	
M		Нержавеющая сталь ферритная, мартенситная				
	05.11	Незакаленная	1800	200	340 -335 -325	275 -270 -255
	05.12	Дисперсионно-твердеющая	2850	330	245 -240 -235	200 -195 -180
	05.13	Закаленная	2350	330	255 -250 -240	205 -200 -190
	05.21	Незакаленная				
	05.22	Незакаленная	1950	200	320 -310 -300	270 -265 -255
		Дисперсионно-твердеющая	2850	330	235 -230 -225	190 -185 -175
	05.51	Аустенитно-ферритная (Дуплекс)				
	05.52	Несвариваемая > 0.05%С	2000	230	310 -300 -295	225 -220 -210
		Свариваемая < 0.05%С	2450	260	275 -270 -260	190 -185 -175
		Нержавеющая сталь – Отливки				
		Ферритная, мартенситная				
	15.11	Незакаленная	1700	200	305 -295 -290	245 -240 -230
	15.12	Дисперсионно-твердеющая	2450	330	215 -210 -205	170 -170 -160
	15.13	Закаленная	2150	330	235 -225 -220	185 -180 -175
	15.21	Незакаленная				
	15.22	Незакаленная	1800	200	300 -295 -285	260 -250 -240
		Дисперсионно-твердеющая	2450	330	215 -210 -205	170 -170 -160
	15.51	Аустенитно-ферритная (Дуплекс)				
	15.52	Несвариваемая > 0.05%С	1800	230	295 -285 -280	215 -205 -195
		Свариваемая < 0.05%С	2250	260	255 -250 -245	175 -170 -165

Продолжение табл. 3.6

ISO	СМС Код	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания кс 1 Н/мм <sup>2</sup>	Твердость по Бринеллю НВ	<i>CB50</i>	<i>CC6090</i>
					<i>Max толщина стружки, h<sub>ex</sub> мм</i>	
					<i>0.1 - 0.15 - 0.2</i>	<i>0.1 - 0.2 - 0.3</i>
					<b>Скорость резания v<sub>c</sub>, м/мин</b>	
<i>K</i>		Ковкий чугун Ферритный (элементная стружка) Перлитный (сливная стружка)	790 900	130 230		1400 -1350 -1250 1150 -1100 -1050
	08.1 08.2	Серый чугун Низкой прочности Высокой прочности	890 1100	180 245	1100 -1050 -1000 1150 -1100 -1100	1550 -1450 -1400 1200 -1150 -1100
		Чугун с шаровидным графитом Ферритный Перлитный	900 1350	160 250	630-610 -590	1050-1050 -980 890-850 -810
ISO	СМС Код	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания кс 1 Н/мм <sup>2</sup>	Твердость по Бринеллю НВ	<i>CD10</i>	<i>CT530</i>
					<i>Max толщина стружки, h<sub>ex</sub> мм</i>	
					<i>0.1 - 0.15 - 0.2</i>	<i>0.1 - 0.15 - 0.2</i>
					<b>Скорость резания v<sub>c</sub>, м/мин</b>	
		Алюминиевые сплавы				
<i>N</i>	30.11	Деформируемые, в т. ч. в холодном состоянии не подвергнутые старению	400	60	2100 -2100 -2050	1150 -1150 -1100
	30.12	Деформируемые, в т.ч. подвергнутые старению	650	100	1900 -1850 -1850	1050 -1050 -1000
		Алюминиевые сплавы				
	30.21	Литье, не подвергнутое старению	600	75	2100 -2100 -2050	1150 -1150 -1100
	30.22	Литье, в т. ч. подвергнутое старению	700	90	1900 -1900 -1850	1050 -1050 -1000

Продолжение табл. 3.6

		Алюминиевые сплавы								
ISO	CMC Код	30.3 Чистый Al >99%	350	30	2150 -2100 -2050	1150 -1150 -1150				
		30.41 Литье, 13-15% Si	700	130	850 -840 -820	470 -460 -450				
		30.42 Литье, 16-22% Si	700	130	640 -630 -620	350 -345 -340				
		Медь и медные сплавы								
		33.1 Легкообрабатываемые сплавы, >1% Pb	550	110	1050 -1050 -1050	580 -570 -560				
		33.2 Латунь, свинцовистая бронза, <1% Pb	550	90	1050 -1050 -1000	580 -570 -560				
		33.3 Бронза без добавок свинца и медь, в т.ч. электролитическая	1350	100	740 -730 -720	410 -400 -395				
		Обрабатываемый материал	Удельная сила резания кс 1 Н/мм <sup>2</sup>	Твердость по Бринеллю НВ	GC1025	GC1030				
					Max толщина стружки, hex мм					
					0.5 - 0.15 - 0.2	0.05-0.15-0.2				
					Скорость резания vc, м/мин					
S		Жаропрочные сплавы На основе железа								
S	20.11	Отжиг или отпуск в расплаве солей	2400	200	70 -70 -70	70-70-70				
	20.12	Подвергнутые старению, в т.ч. после отжига в расплаве солей	2500	280	55 -50 -50	55-50-50				
		На основе никеля								
	20.21	Отжиг или отпуск в расплаве солей	2650	250	70 -65 -65	70-65-65				
	20.22	Подвергнутые старению, в т.ч. после отжига в расплаве солей	2900	350	40 -40 -40	40-40-40				
	20.24	Литье, в т. ч. подвергнутое старению	3000	320	50 -50 -50	50-50-50				

Окончание табл. 3.6

		<b>На основе кобальта</b>				
20.31		Отжиг или отпуск в расплаве солей	2700	200	30 -29 -28	30-29-28
20.32		Старение после отжига в расплаве солей	3000	300	21 -20 -20	21-20-20
20.33		Литье, в т. ч. подвергнутое старению	3100	320	20 -19 -18	20-19-18
		<b>Титановые сплавы</b>		RmD		
23.1		Технически чистый титан (99.5% Ti) α, близкие к α и α + β	1300	400	150 -145 -140	150-145-140
23.21		Сплавы, отожженные α + β	1400	950	80 -75 -75	80-75-75
23.22		подвергнутые старению, сплавы β, отожженные или подвергнутые старению	1400	1050	65 -60 -60	65-60-60
<i>ISO</i>	<i>CMC Код</i>	<b>Обрабатываемый материал</b>	Удельная сила резания кс 1 Н/мм <sup>2</sup>	Твердость по Бринеллю НВ	CB50	CT530
					Max толщина стружки, h <sub>ex</sub> мм	
					0.07 - 0.12 - 0.2	0.07 - 0.1 - 0.2
					Скорость резания vc, м/мин	
<i>H</i>		Закаленная сталь				
04.1		Закаленная и отпущеная	4200	59 HRC	190 -180 -175	95 -90 -85
		Отбеленный чугун				
10.1		Литье, в т. ч. подвергнутое старению	2250	400	355 -345 -330	180 -175 -165

RmD- предел прочности на растяжении в МПа

Таблица 3.7

Рекомендации по выбору скоростей резания при фрезерование с большой шириной контакта

Условия обработки:

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



ISO	CMC Код	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания Н/мм <sup>2</sup>	Твердость по Бринеллю НВ	CT530	GC1025
					Max толщина стружки, $h_{ex}$ мм	0.05 - 0.1 - 0.2
<i>P</i>		Сталь нелегированная				
01.1	C = 0.10 - 0.25%		1500	125	430 -390 -350	340 -310 -255
01.2	C = 0.25 - 0.55%		1600	150	385 -350 -315	305 -280 -230
01.3	C = 0.55 - 0.80%		1700	170	365 -330 -300	290 -260 -215
01.4			1800	210	315 -290 -260	250 -230 -185
01.5			2000	300	235 -210 -195	185 -170 -140
02.1	Низколегированная (легир. эл. < 5%) Незакаленная		1700	175	300 -275 -245	240 -215 -180
02.2	Закаленная и отпущеная		1900	300	195 -180 -160	155 -140 -115
03.11	Высоколегированная(легирующих эл. >5%) Отожженная		1950	200	230 -205 -185	180 -165 -135
03.13	Закаленная инструментальная сталь		2150	200	190 -170 -155	150 -135 -110
03.21			2900	300	165 -150 -135	130 -120 -100
03.22			3100	380	105 -95 -85	80 -75 -60
06.1	Стальное литье Нелегированное		1400	150	305 -280 -250	245 -220 -180
06.2	Низколегированное (легир. эл. < 5%)		1600	200	245 -220 -200	195 -175 -145
06.3	Высоколегированное (легирующих эл. > 5%)		1950	200	180 -160 -145	140 -130 -105

Продолжение табл. 3.7

ISO	CMC Код	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания $k_c$ 1 Н/мм <sup>2</sup>	Твердость по Бринеллю НВ	CT530	GC1025
					Max толщина стружки, $h_{ex}$ мм	
					0.1 - 0.15 - 0.2	0.05 - 0.1 - 0.2
					Скорость резания $v_c$ , м/мин	
<i>M</i>		Нержавеющая сталь Ферритная, мартенситная				
	05.11	Незакаленная	1800	200	285 -255 -230	255 -225 -180
	05.12	Дисперсионно-твердеющая	2850	330	205 -185 -165	180 -160 -130
	05.13	Закаленная	2350	330	215 -190 -170	185 -165 -135
		Незакаленная				
	05.21	Незакаленная	1950	200	265 -240 -215	250 -225 -180
	05.22	Дисперсионно-твердеющая	2850	330	200 -175 -160	170 -155 -125
		Аустенитно-ферритная (Дуплекс)				
	05.51	Несвариваемая > 0.05%С	2000	230	260 -235 -210	205 -185 -145
	05.52	Свариваемая < 0.05%С	2450	260	230 -205 -185	175 -155 -125
<i>15</i>		Нержавеющая сталь - Отливки Ферритная, мартенситная				
	15.11	Незакаленная	1700	200	255 -230 -205	225 -200 -160
	15.12	Дисперсионно-твердеющая	2450	330	180 -160 -145	155 -140 -115
	15.13	Закаленная	2150	330	195 -175 -155	170 -155 -120
	15.21	Незакаленная	1800	200	255 -225 -205	235 -210 -170
	15.22	Дисперсионно-твердеющая	2450	330	180 -160 -145	160 -140 -115
		Аустенитно-ферритная (Дуплекс)				
	15.51	Несвариваемая > 0.05%С	1800	230	245 -220 -195	195 -175 -140
	15.52	Свариваемая < 0.05%С	2250	260	215 -190 -170	160 -145 -115

## Продолжение табл. 3.7

ISO	CMC Код	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания кс 1 Н/мм <sup>2</sup>	Твердость по Бринеллю НВ	CB50	CC6090
					Max толщина стружки, $h_{ex}$ мм	0.1 - 0.15 - 0.2      0.1 - 0.2 - 0.3
					Скорость резания vc, м/мин	
K	07.1	Ковкий чугун	790	130	1200 - 980 - 800	
		Ферритный (элементная стружка)				
	07.2	Перлитный (сливная стружка)	900	230	980 - 810 - 660	
		Серый чугун				
	08.1	Низкой прочности	890	180	850 - 720 - 620	1300-1100-890
		Высокой прочности			910 - 780 - 670	1050-860-700
	09.1	Чугун с шаровидным графитом	900	160	920-760-620	
		Ферритный				
		Перлитный			495 - 420 - 360	760 - 630 - 510
					CD10	H10
ISO	CMC Код	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания кс 1 Н/мм <sup>2</sup>	Твердость по Бринеллю НВ	Max толщина стружки, $h_{ex}$ мм	
					0.1 - 0.15 - 0.2	0.1 - 0.15 - 0.2
N	30.11	Алюминиевые сплавы	400	60	1900 - 1750 - 1600	940 - 870 - 810
		Деформируемые, в т. ч. в холодном состоянии не подвергнутые старению				
	30.12	Деформируемые, в т.ч. подвергнутые старению	650	100	1700 - 1550 - 1450	850 - 780 - 730
		Алюминиевые сплавы				
	30.21	Литье, не подвергнутое старению	600	75	1900 - 1750 - 1600	940 - 870 - 810
		Литье, в т. ч. подвергнутое старению				
	30.3	Алюминиевые сплавы	350	30	1900 - 1750 - 1600	950 - 880 - 810
		Чистый Al >99%				
	30.41	Алюминиевые сплавы	700	130	760 - 700 - 650	380 - 350 - 325
		Литье, 13-15% Si				
	30.42	Литье, 16-22% Si	700	130	570 - 530 - 485	285 - 265 - 245

		Медь и медные сплавы				
33.1		Легкообрабатываемые сплавы, >1% Pb	550	110	940 -870 -810	470 -435 -405
33.2		Латунь, свинцовистая бронза, <1% Pb	550	90	940 -870 -810	470 -435 -405
33.3		Бронза без добавок свинца и медь, в т.ч. электролитическая	1350	100	660 -610 -570	330 -305 -285
<i>ISO</i>	<i>CMC Код</i>	<b>Обрабатываемый материал</b>	Удельная сила резания кс 1 Н/мм <sup>2</sup>	Твердость по Бринеллю НВ	<i>H13A</i>	<i>GC1025</i>
<i>S</i>		<b>Жаропрочные сплавы на основе железа</b>			<i>Max толщина стружки, h<sub>ex</sub> мм</i>	
		<b>На основе никеля</b>			<i>Скорость резания vc, м/мин</i>	
		<b>На основе кобальта</b>			<i>Rm<sup>1</sup></i>	
		<b>Титановые сплавы1)</b>				
		<b>23.1</b>				

Окончание табл. 3.7

ISO	CMC Код	Обрабатываемый материал	Удельная сила резания кс 1 Н/мм <sup>2</sup>	Твердость по Бринеллю НВ	CB50	CC6090
					Max толщина стружки, hex мм 0.07 - 0.12 - 0.2	0.07 - 0.12 - 0.2
H	04.1	Закаленная сталь	4200	59 HRC	160 -140 -115	85 -75 -60
		Закаленная и отпущеная				
	10.1	Отбеленный чугун	2200	400	310 -270 -215	160 -140 -115
		Литье, в т. ч. подвергнутое старению				

<sup>1</sup> Rm = предел прочности на растяжение в МПа.

### 3.5. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

Как правило, на станках с ЧПУ обработка проводится с участием различного инструмента. При этом, по устоявшимся в машиностроении традициям каждый из типов инструмента имеет свои присоединительные поверхности, отличающиеся как конструкцией, так и размерами: резцы, обычно, имеют державку прямоугольного сечения, различных типоразмеров; осевой инструмент присоединяется с помощью конусов Морзе и цилиндрических хвостовиков. Вследствие большого разнообразия присоединительных поверхностей, практически невозможно сконструировать револьверную головку (присоединительную поверхность шпинделя), обеспечивающую непосредственное крепление всей номенклатуры, участвующей в обработке режущего инструмента. Вследствие этого, инструмент к револьверной головке подсоединяется с помощью промежуточных переходных блоков, носящих название «вспомогательный инструмент». Такой блок обычно имеет две присоединительные поверхности: одна поверхность служит для соединения с револьверной головкой (шпинделем), а вторая предназначена для крепления инструмента конкретного типоразмера.

Эффективность работы станков с ЧПУ, повышение их производительности в значительной мере зависят от технического уровня вспомогательного инструмента, обеспечивающего возможность сокращения всех составляющих штучно-калькуляционного времени.

Сокращение основного времени, достигаемое интенсификацией режимов резания, может быть обеспечено в результате повышения жесткости вспомогательного инструмента, увеличения силы закрепления режущего инструмента, особенно оснащенного твердосплавными неперетачиваемыми пластинами, изготовленными из сверхтвердых материалов, а также путем применения конструкций патронов, исключающих влияние центробежных сил на точность обработки.

Уменьшение времени, затрачиваемого на базирование и закрепление заготовок, может быть обеспечено путем использования вспомогательного инструмента, обеспечивающего расширение

технологических возможностей станка (сменных угловых головок, токарных головок для вращающихся инструментов и т. п.). Сокращение времени на смену инструмента может быть достигнуто путем быстросменного вспомогательного инструмента, предварительно настроенного вне станка, сокращения числа смен инструмента при применении многошпиндельных головок.

Уменьшение подготовительно-заключительного времени оказывает существенное влияние на сокращение времени простоя станка с ЧПУ, особенно в мелкосерийном производстве. Поскольку переналадка станка заключается лишь в смене УП, сокращение подготовительно-заключительного времени обусловливается, главным образом, сокращением времени замены инструмента и приспособлений. Сокращение времени замены вспомогательного инструмента в сборе с режущим достигается их предварительной настройкой вне станка и установкой в револьверных головках или инструментальных магазинах, а также быстрой сменой револьверных головок или автоматической сменой магазинов с установленным заранее необходимым вспомогательным инструментом в сборе с режущим инструментом. Можно сформулировать следующие требования к вспомогательному инструменту для станков с ЧПУ:

- крепление режущего инструмента с требуемыми точностью, жесткостью и виброустойчивостью;
- регулирование (при необходимости) положения режущих кромок относительно координат технологической системы станков с ЧПУ;
- расширение технологических возможностей станков с ЧПУ;
- концентрация технологических переходов;
- удобство в эксплуатации (быстросменность, простота сборки, наладки);
- технологичность изготовления.

### **3.5.1. Вспомогательный инструмент для станков с ЧПУ токарной группы**

Вспомогательный инструмент токарных станков должен обеспечивать крепление резцов, сверл (с коническим и цилиндрическим хвостовиками), зенкеров, разверток, метчиков и плашек и удовлетворять следующим основным требованиям:

- быть достаточно жестким;
- иметь высокую точность и стабильность базирования и крепления режущего инструмента;
- позволять выполнять все технологические операции, предусмотренные технической характеристикой станка;
- легко и быстро устанавливаться и сниматься;
- иметь межразмерную унификацию;
- обеспечивать настройку инструмента вне станка.

Наиболее широкое распространение получили станки с револьверными головками, позволяющими крепить режущий инструмент с помощью вспомогательного инструмента или с непосредственной установкой резцов. Способы установки вспомогательного инструмента в револьверной головке различны. Широко применяется центрирование по конусу или цилиндрическому хвостовику с креплением винтами за фланец, прижимными винтами в лыску хвостовика, зажимными сухарями за цилиндрический хвостовик и рифленым клином за рифления в лыске цилиндрического хвостовика. Эти способы крепления вспомогательного инструмента получили распространение на патронно-центровых станках, имеющих шести- и восьмигранные револьверные головки. На одной грани головки может быть закреплено несколько резцодержателей с режущим инструментом для наружной и внутренней обработок [3].

Базирование осуществляется по направляющим в виде призм, сфер или типа «ласточкин хвост», а также креплением эксцентриком или прижимными планками, используют базирование по призмам с креплением прихватами. Реже выполняется базирование вспомогательного инструмента по зубчатому венцу с креплением эксцентриком или винтами, базирование по шпонке или штифтам с креплением винтами, а также базирование по кругому конусу с креплением эксцентриком. Применяется и непосредственное крепление режущего инструмента в револьверных головках.

Базирование и крепление с помощью цилиндрического хвостовика (рис. 3.28 (а–в)) обеспечивает надежное центрирование инструмента. Этот способ используется на станкостроительных заводах, изготавливающих и эксплуатирующих универсальные револьверные станки, токарные полуавтоматы и автоматы. Конструкция цилиндрического хвостовика у вспомогательного

инструмента для станков с ЧПУ, по сравнению с обычными станками, несколько видоизменена и введена плоская лыска, на которой в ряде случаев выполняют рифления (рис. 3.28 (г)). Базирование резцодержателя проводится по цилинду хвостовика и штифту, обеспечивающему точную угловую установку инструмента, который крепится в револьверной головке с помощью сухаря или клина имеющего рифление, смешенные относительно рифлений хвостовика. В результате вспомогательный инструмент прижимается к револьверной головке станка с усилием в несколько килоньютонах. Жесткость такого соединения превышает жесткость соединения без рифлений в 3 раза.

В некоторых станках с ЧПУ используется комбинированная установка вспомогательного инструмента (рис. 3.28 (д)) на призматические направляющие (две призмы или призма и плоскость) в сочетании с цилиндрическим хвостовиком.

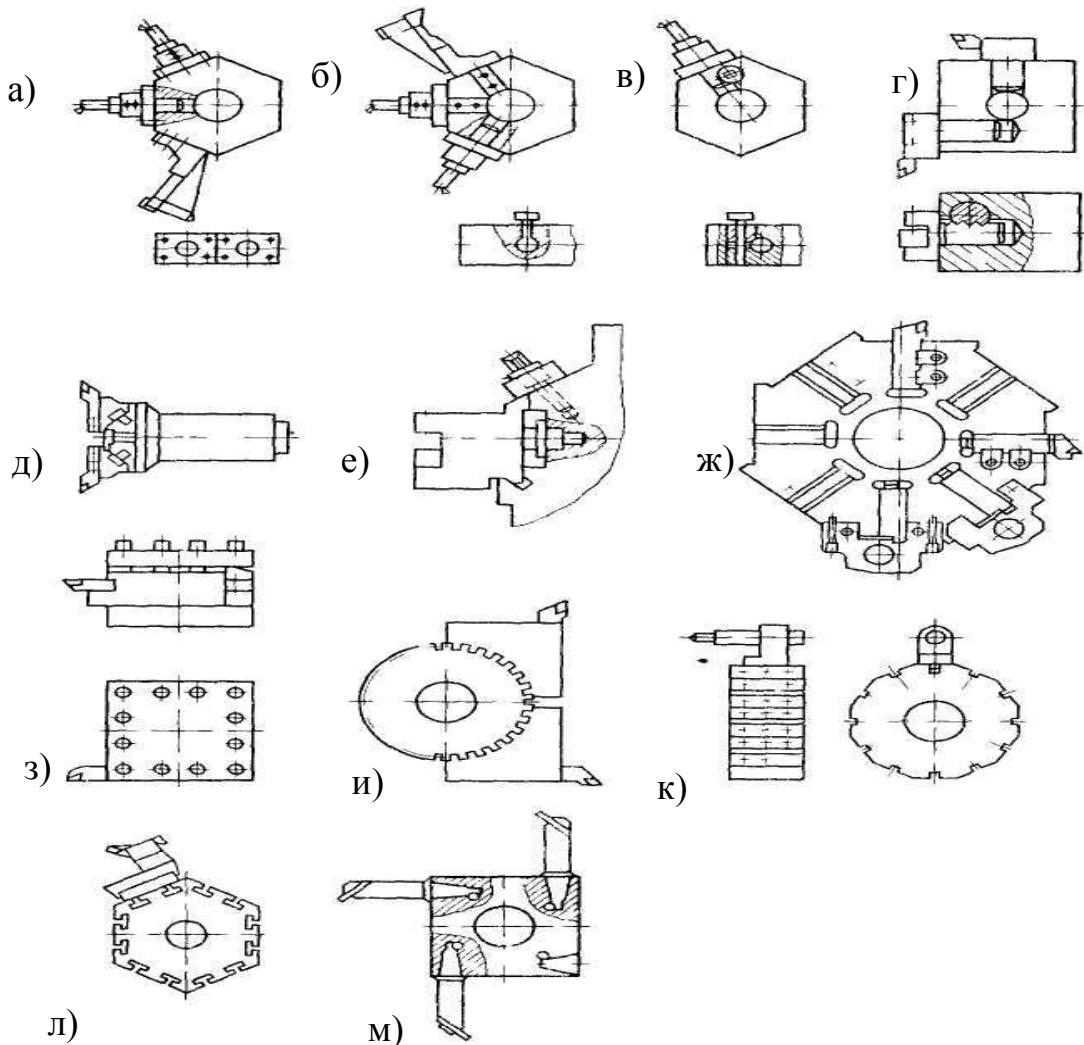


Рис. 3.28. Основные схемы способов крепления инструмента на токарных станках с ЧПУ

Резцодержатели с установкой на призматические поверхности (рис. 3.28 (е)) используют на станках с четырехпозиционными револьверными головками, предназначенными для центровых и патронно-центровых работ. Такой способ позволяет с помощью нескольких сухарей устанавливать на одной грани револьверной головки независимо друг от друга несколько резцодержателей. В продольном направлении резцодержатели фиксируются сухарем, который входит в специальный паз. Через этот сухарь смазочно-охлаждающую жидкость подводят к инструменту.

Вид резцодержателя с базирующей призмой и с открытым пазом под резцы представлен на рис. 3.29. Принципы закрепления инструмента, подвода и подачи СОЖ, регулирования положения резцов принятые такими же, как и для резцодержателей с цилиндрическим хвостовиком. Отличительной особенностью резцодержателей с базирующей призмой является то, что в них можно устанавливать как правые, так и левые резцы.

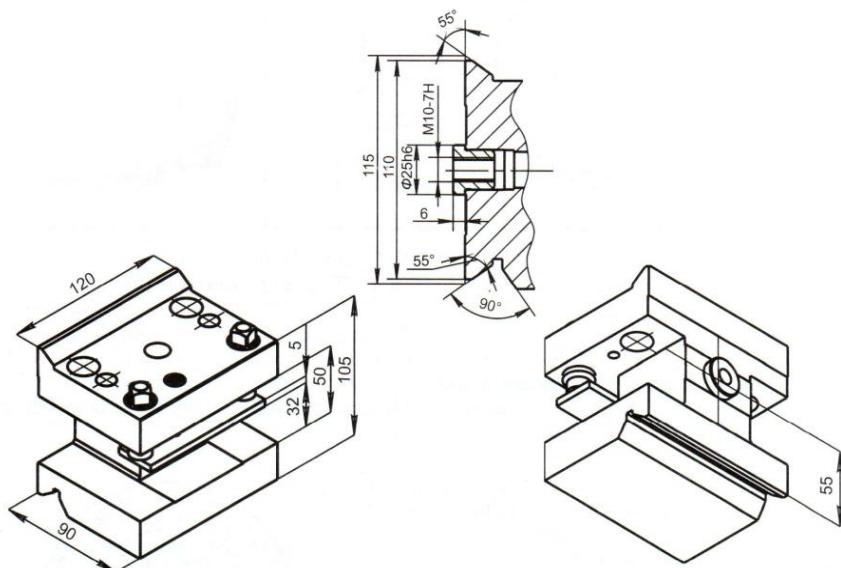


Рис. 3.29. Схема резцодержателя с базирующей призмой и открытым пазом

На центровых токарных станках с ЧПУ широко используют револьверные головки (рис. 3.28 (ж)) с непосредственным креплением режущего инструмента.

Реже используют четырехгранные резцодержатели (рис. 3.28 (и)), конструкции которых аналогичны применяемым на универсальных станках с ручным управлением.

На ряде токарных станков вспомогательный инструмент, который базируют по зубчатому венцу револьверной головки (рис. 3.28 (к)). Резцодержатели имеют зубчатый венец с зубьями внутреннего зацепления, прижимы которых осуществляются эксцентриком. Такой способ крепления обеспечивает необходимую жесткость, позволяет располагать резцодержатели под любым углом относительно друг друга. Недостаток способа — относительная сложность нарезания зубьев, особенно на резцодержателях. Несколько реже используют способы установки, представленные на рис. 3.28 (л-н).

На рис. 3.30 приведен пример комплекта вспомогательного инструмента к токарному станку T7 Leadwell [14].

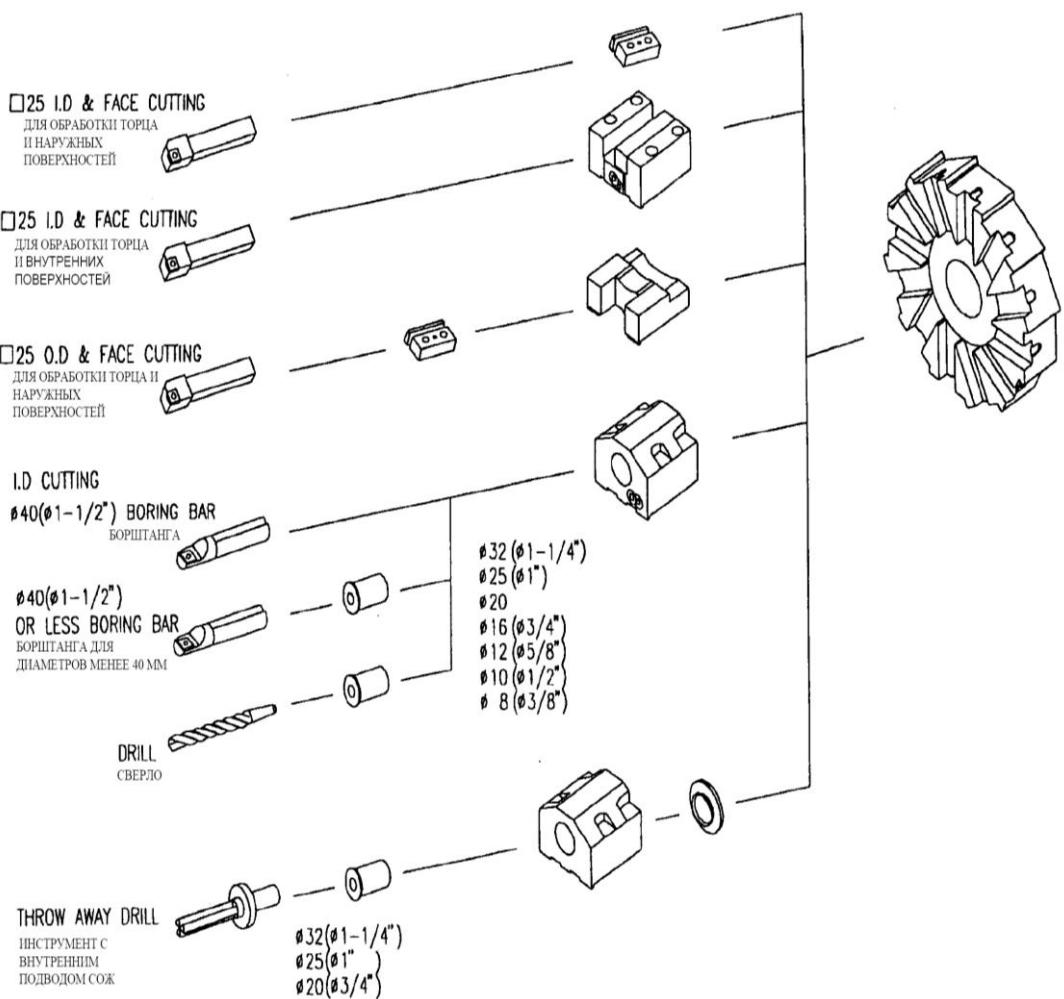


Рис. 3.30. Комплект вспомогательного инструмента к станкам Leadwell

### 3.5.2. Вспомогательный инструмент для станков сверлильно-расточной и фрезерной групп

Служебное назначение вспомогательного инструмента для многоцелевых станков полностью соответствует инструменту токарных станков с ЧПУ. Отличительные особенности такого инструмента [3]:

- в связи с тем, что инструмент устанавливается в шпиндель станка, хвостовики обычно имеют форму конуса Морзе;
- так как смена и закрепление инструмента выполняется автоматически, на хвостовике предусмотрены специальные поверхности, предназначенные для захвата инструмента автооператором, а также для удержания инструмента в магазине.

Пример комплекта вспомогательного инструмента многоцелевого станка ЧПУ показан на рис. 3.31.

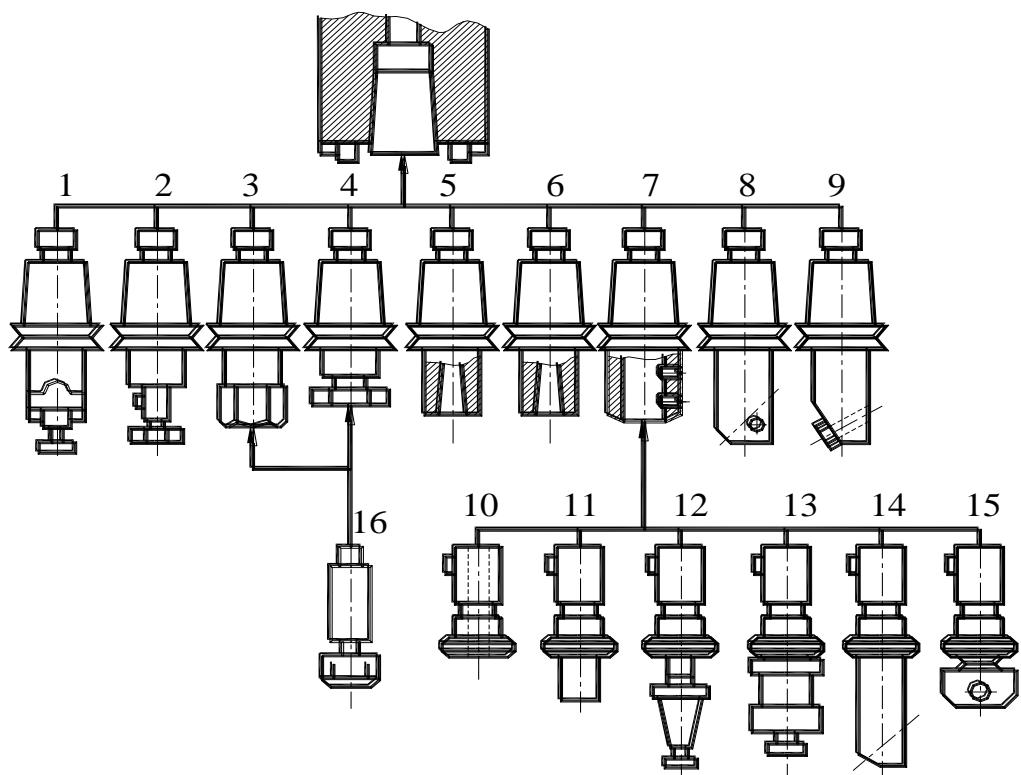


Рис. 3.31. Состав комплекта вспомогательного инструмента для многоцелевых станков с ЧПУ

В систему (рис. 3.31) включены оправки насадных фрез 1, 2, предназначенные для крепления торцовых, трехсторонних, цилиндрических и других фрез. Цанговые патроны 3, 4, 16

предназначены для крепления инструмента с цилиндрическим хвостовиком, стандартных сверл, зенкеров, разверток, фрез диаметром 3-20 мм и специальных фрез диаметром 20—50 мм. Нерегулируемые переходные втулки 5, 6 предназначены для инструмента с конусом Морзе от 2-5.

Системой предусмотрена номенклатура расточных оправок для чистовой и черновой обработок. Включены оправки 9 для чистовой обработки отверстий диаметром 50-180 мм, изготавляемые с наклонными гнездами под резцовые расточные вставки с микрометрическим регулированием. В однолезвийных оправках 8 для чернового растачивания отверстий диаметром 50-180 мм предусмотрено использование стандартных расточных резцов, устанавливаемых в державку.

В качестве адаптера в системе используются переходные державки, состоящие из корпуса с внутренним цилиндрическим отверстием и винта для фиксации положения закрепляемого хвостовика 7. В державках закрепляются переходные цилиндрические втулки 10, оправки для насадных зенкеров и разверток 12, патроны для метчиков 13, расточные оправки 14 и расточные патроны 15.

Комплект вспомогательного инструмента фирмы Sandvik Coromant показан на рис. 3.32. В состав комплекта входят набор хвостовиков, отвечающих требованиям различных стандартов; переходники, предназначенные для увеличения вылета инструмента; набор патронов для крепления насадных фрез и концевого инструмента; набор черновых и чистовых расточных оправок, а также концевых фрез и сверл, имеющих унифицированные присоединительные поверхности Coromant Capto.

При работе с высокими частотами вращения шпинделя (более 10000 об/мин) одним из основных требований к вспомогательному инструменту являются высокие и стабильные усилия закрепления и минимальное биение инструмента [12]. Им соответствуют оправки с гидропластом, гидромеханическим и термическим зажимами (рис. 3.33).

В оправках первого типа давление зажима создает малосжимаемое вещество «гидропласт» при завинчивании винта в корпус.

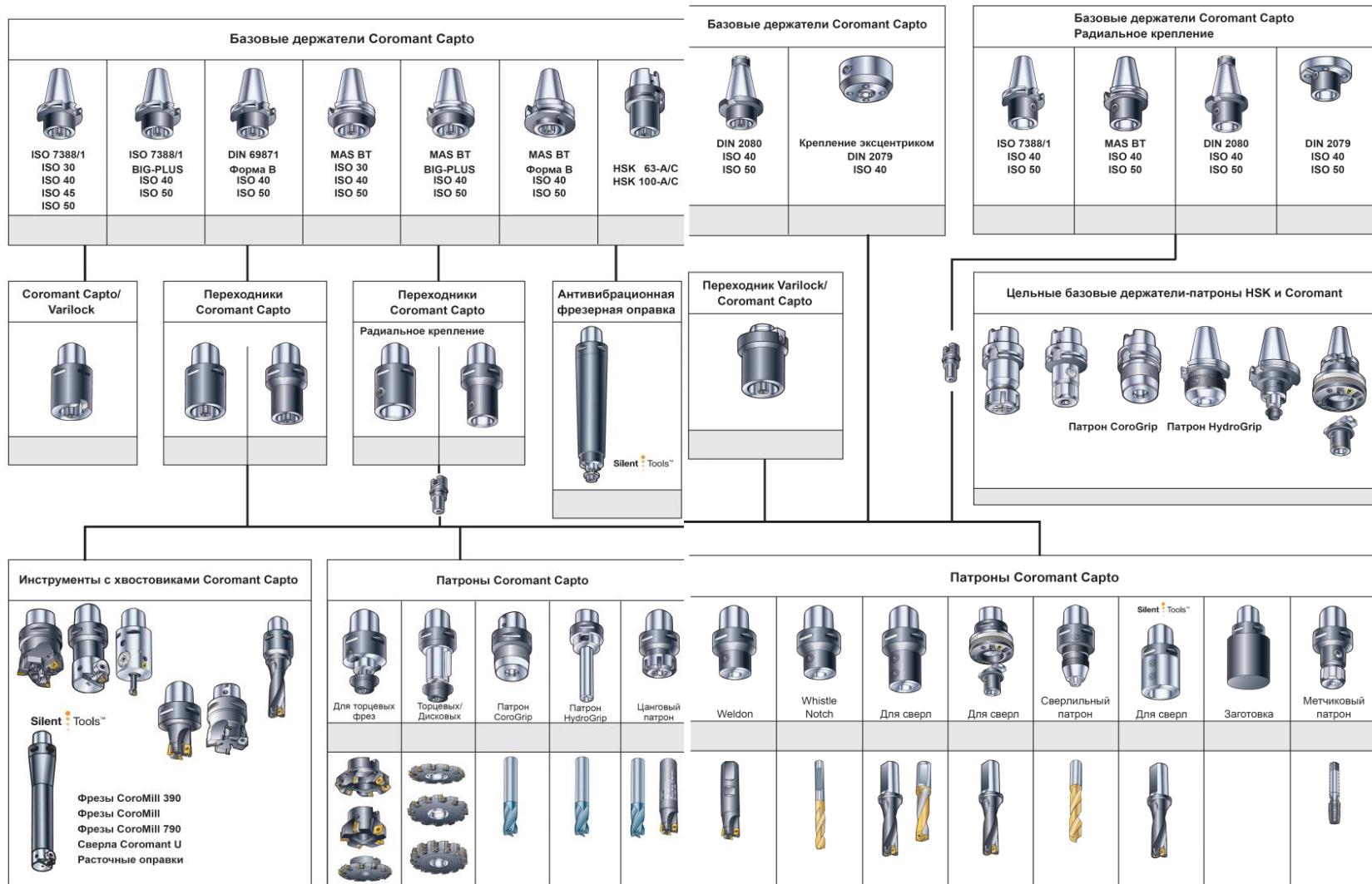


Рис. 3.32. Состав комплекта вспомогательного инструмента для многоцелевых станков фирмы Sandvik Coromant.

Принцип работы гидромеханических оправок схож с предыдущим, только давление создается не винтом, а специальным насосом. При этом жидкость, находящаяся в корпусе, действует на клиновой механизм, зажимающий инструмент.

Оправки с термическими зажимами используют свойство металлов расширяться при нагревании. Корпус помещается в специальное устройство индукционного нагрева, нагревается и в него устанавливается инструмент. После охлаждения посадочный диаметр уменьшается и инструмент закрепляется силами упругости. Данный тип оправок используется только для твердосплавного инструмента, т. к. его коэффициент теплового расширения ниже, чем у стали.

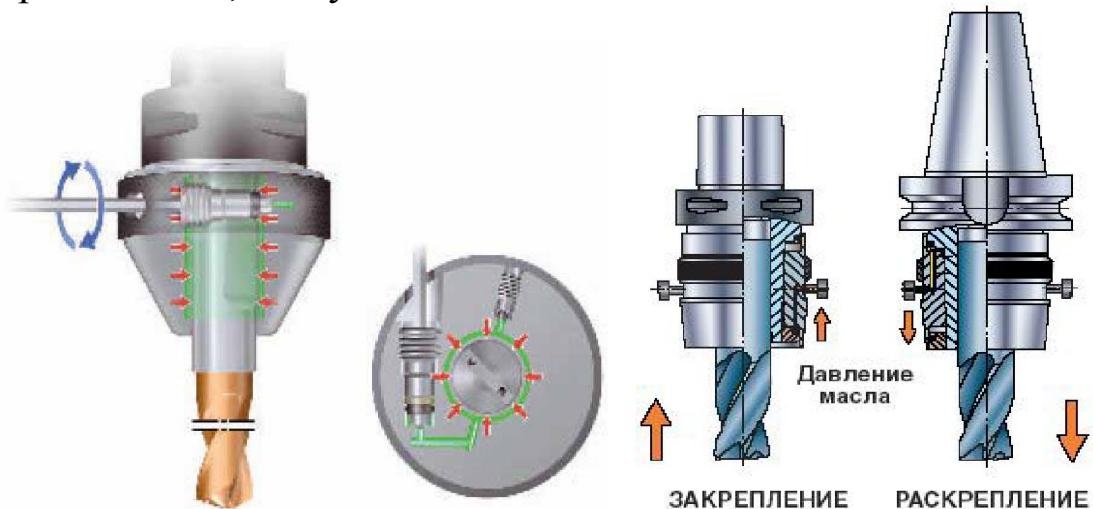


Рис. 3.33. Оправки с зажимом инструмента гидропластом и гидравлическим способом

Существует отдельная группа вспомогательного инструмента, предназначенного для расширения технологических возможностей станка и носящего название «специальный вспомогательный инструмент».

К такому инструменту относятся многошпиндельные, угловые и ускорительные головки, устройства удаления стружки, дозаторы.

Автоматически сменяемые многошпиндельные головки имеют, как правило, два, три или четыре шпинделей. Вращение этих шпинделей осуществляется с той же частотой, что и вращение шпинделя с сохранением направления вращения. В двухшпиндельной головке (рис. 3.34) центральная шестерня 1, размещенная на хвостовике 15, вращающаяся в подшипниках 14,

через блоки колес 13 и 12 передает крутящий момент от шпинделя станка на шестерни 9, размещенные на шпинделях 6 головки. ШпинNELи 6 размещены в корпусах 5 с эксцентрикиситетом относительно осей 2 и 10, расположенных в корпусе 4 головки с межосевым расстоянием, равным 68 мм. При вращении корпусов 5 вокруг осей 10 расстояние между шпинделеми 6 головки изменяется от минимального до максимального. Режущий инструмент цилиндрическим хвостовиком диаметром до 13 мм закрепляется в цангах 8 с помощью гаек 7.

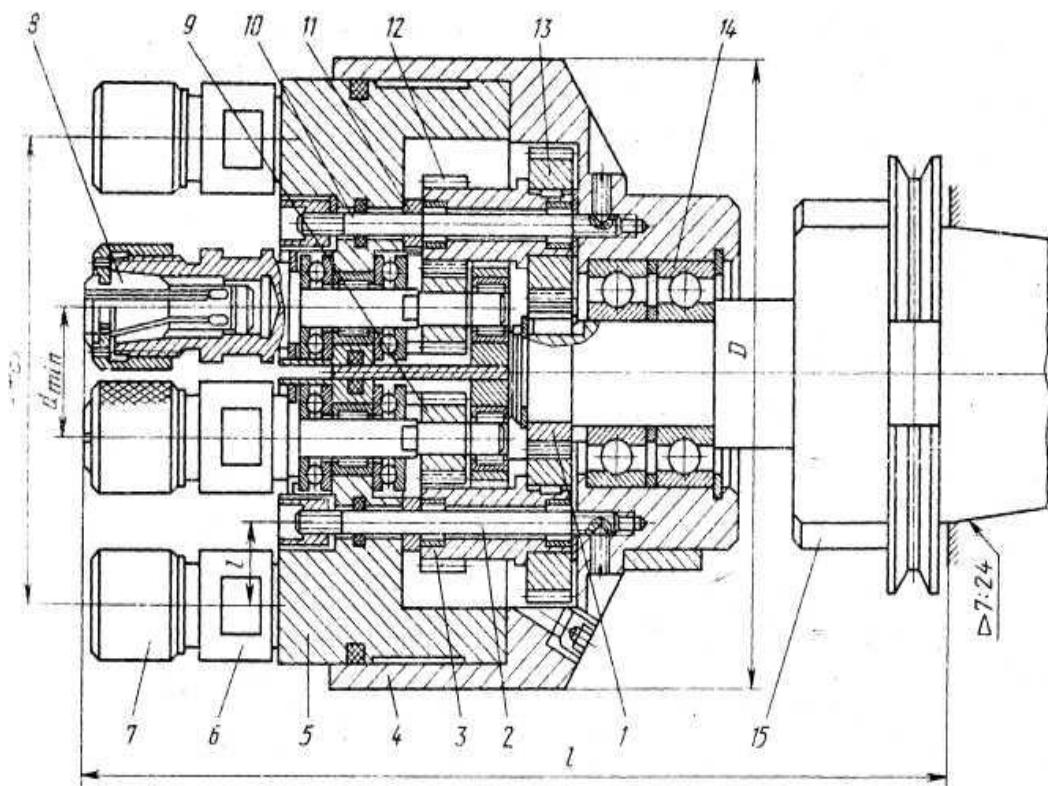


Рис. 3.34. Конструктивное исполнение двухшпиндельной регулируемой головки

Для сокращения времени, затрачиваемого на базирование и закрепление заготовок, используются сменные головки, в которых шпиндель головки расположен относительно оси шпинделя станка под углом.

На рис. 3.35 представлена конструкция головки с углом  $\alpha = 45^\circ$ . На хвостовике 1 размещена коническая шестерня 2, которая находится в зацеплении с шестерней 3, закрепленной с приставкой 4 на шпинделе 5 с конусом Морзе. Достижение произвольного положения оси инструмента относительно оси шпинделя достигается с помощью регулируемых угловых головок. Они

выполняются с двумя разъемами, каждый из которых обеспечивает поворот соединяемых частей относительно друг друга на  $360^\circ$ . В результате может быть обработана любая точка в пределах полусферы.

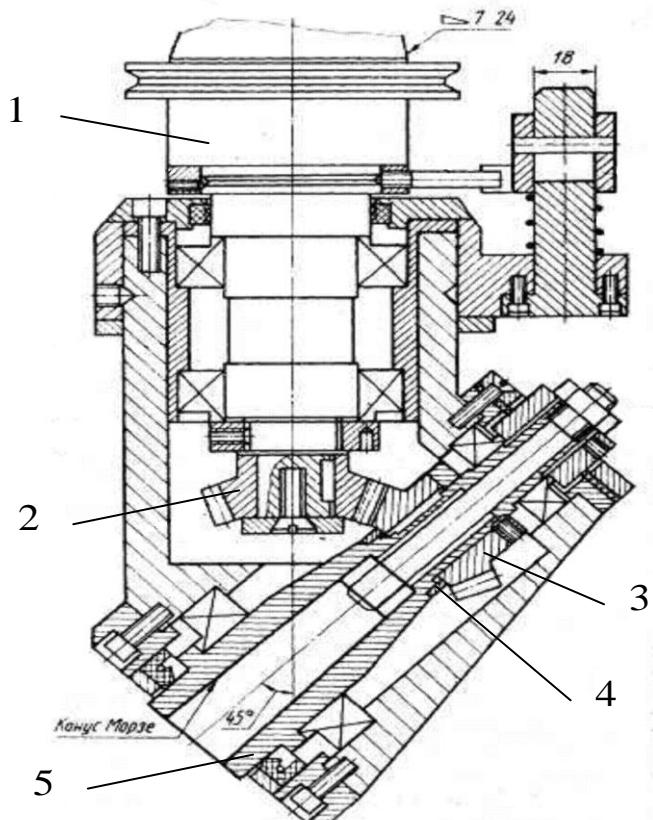


Рис.3.35. Конструктивная схема головки с шпинделем, расположенным под углом  $\alpha = 45^\circ$

Ускорительные головки (мультиплекторы) предназначены для обработки на станках с ЧПУ конструкционных сталей и чугунов нормальной обрабатываемости концевыми твердосплавным и быстрорежущим инструментами диаметром до 12 мм (сверла, центровки, зенкеры, концевые и шпоночные фрезы и т. п.) со скоростями резания, имеющими оптимальные значения. Необходимость в таких головках предопределяется тем, что ряд станков для обработки корпусных деталей имеют ограниченную частоту вращения шпинделя, недостаточную для достижения необходимой скорости резания.

Пример конструкции ускорительной головки представлен на рис. 3.36. Корпус 1 выполняет роль водила, в котором на осях 9 закреплены сателлиты 7. Корпус 1 неподвижно соединен с хвостовиком 3, устанавливаемым в шпиндель станка. Сателлиты 7 находятся в зацеплении с корончатым колесом 8, которое может

быть остановлено путем соединения с позиционирующим блоком. Через солнечное колесо 2 вращение передается на выходной вал 5, который движется с частотой, в пять раз большей частоты вращения шпинделя. На открытом конце выходного вала размещен цанговый патрон с цангой 10, которая с помощью гайки 11 закрепляет цилиндрический хвостовик инструмента 12. На другом конце выходного вала 5 с помощью шайбы 4 закреплен маховик 6, предназначенный для повышения равномерности вращения инструмента.

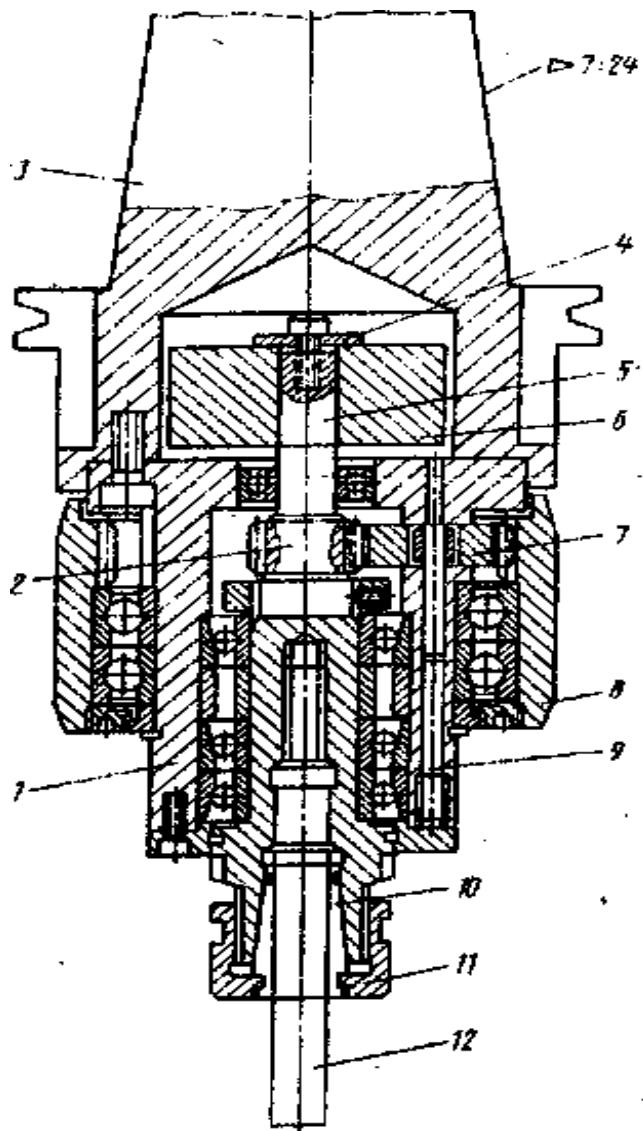


Рис. 3.36. Ускорительная головка

После сверления глухого отверстия оставшуюся в нем стружку удаляют с помощью специального устройства для удаления стружки (рис. 3.37), который подключается к индустриальному пылесосу через специальный разъем 2. Подвод сменного наконечника 6 к детали осуществляется при подаче 4-6

м/мин. После упора в деталь наконечника 6 колено 7 перемещается относительно хвостовика 1 и через трубу 5 перемещает плунжер 4 разъема 2 до срабатывания конечного выключателя 3, который подает команду на прекращение подачи устройства.

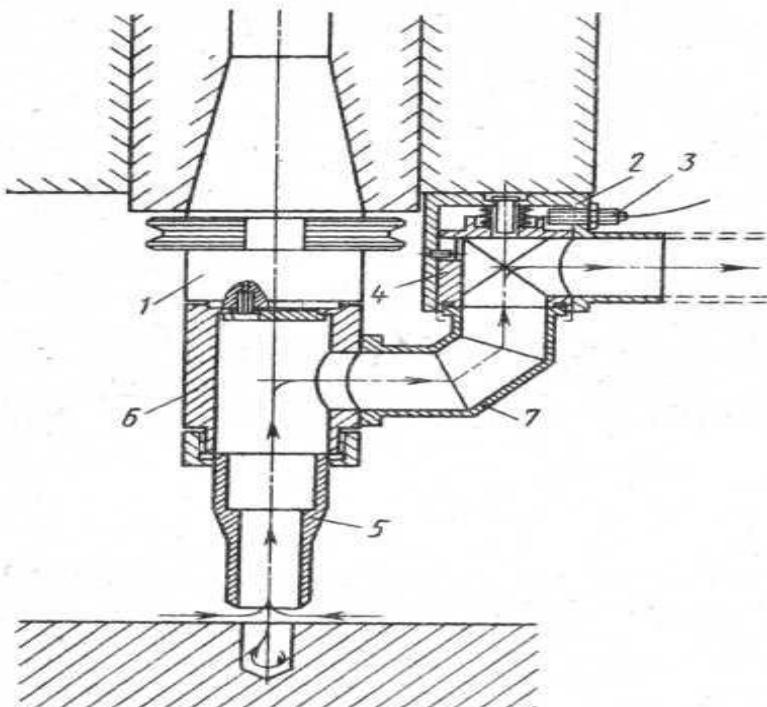


Рис. 3.37. Конструктивное исполнение устройства для удаления стружки

Дозатор для подачи масла (рис. 3.37) пригоден как для станков с вертикальным, так и с горизонтальным расположением оси шпинделя. Дозатор позволяет вводить масло в отверстие или в другие зоны, которые требуют смазывания, а также в тех случаях, когда СОЖ, находящаяся в системе станка, не пригодна для этих целей. Объем дозатора составляет 400, 600 и 800 см<sup>3</sup>, доза масла может регулироваться от 0 до 2 см<sup>3</sup>.

Дозатор (рис. 3.38) имеет хвостовик 1 для установки в шпинделе станка, который соединяется с емкостью 2. Емкость 2 снабжена перепускным клапаном 8, втулкой 3 с запорной иглой 4, который функционирует как в вертикальном, так и в горизонтальном положениях, однако в последнем случае необходима ориентация дозатора по углу вращения шпинделя.

Из камеры 8 масло поступает в наконечник 5, в котором находится плунжер 6 с шариковым клапаном 7. При наличии масла в камере 8 дозатор со скоростью 4-6 м/мин прижимается к детали

до упора форсункой 10. При этом плунжер 6 перемещается в наконечнике 5, создавая давление в камере 8. Под этим давлением срабатывает шариковый клапан 7, и порция масла выбрасывается в зону предстоящей обработки. Сменные форсунки 10 обеспечивают различную форму впрыска для достижения наилучшего эффекта смазки.

После впрыска дозатор отводится от детали и плунжер 6 под действием пружины 9 возвращается в исходное положение, функционируя при этом как поршень насоса. В камере 8 создается разрежение, клапан 4 открывается и камера заполняется маслом. Количество масла определяется величиной хода плунжера 5. При максимальном ходе 15мм обеспечивается подача 2 см<sup>3</sup> масла.

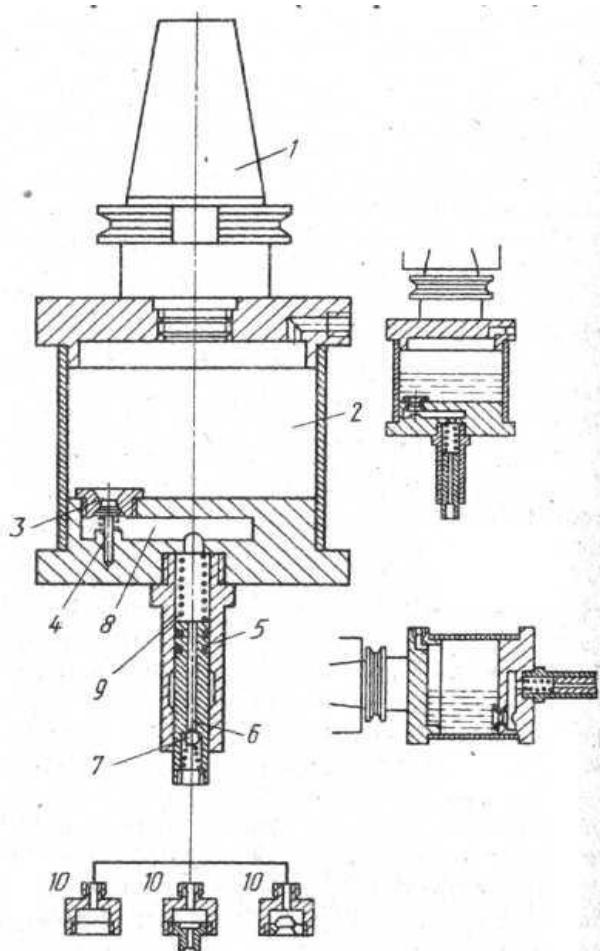


Рис. 3.38. Конструктивное исполнение дозатора для подачи масла

## ГЛАВА 4. ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

### 4.1. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ПЕРЕХОДОВ ПРИ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ

При программировании фрезерной обработки областей (зон) используют типовые схемы технологических переходов, определяющих правила построения траектории инструмента.

Существует две основные схемы формирования траектории движения фрезы при фрезерной обработке: зигзагообразная и спиралевидная [10, 13].

Зигзагообразная схема (рис. 4.1) характеризуется тем, что инструмент в процессе обработки совершает движение в противоположных направлениях вдоль параллельных строчек с переходом от одной строки к другой вдоль границы области. Эта схема достаточно распространена, но имеет ряд недостатков. Один из недостатков – переменный характер фрезерования: вдоль одной строки инструмент работает в направлении подачи, а вдоль следующей – против, что ведет к изменению сил резания и качества обработки. Другой недостаток этой схемы – повышенное число изломов на траектории инструмента. Это отрицательно сказывается на динамике резания и ведет к увеличению времени обработки, т. к. необходимо выполнять многочисленные операции по разгону и торможению привода подачи станка с ЧПУ.

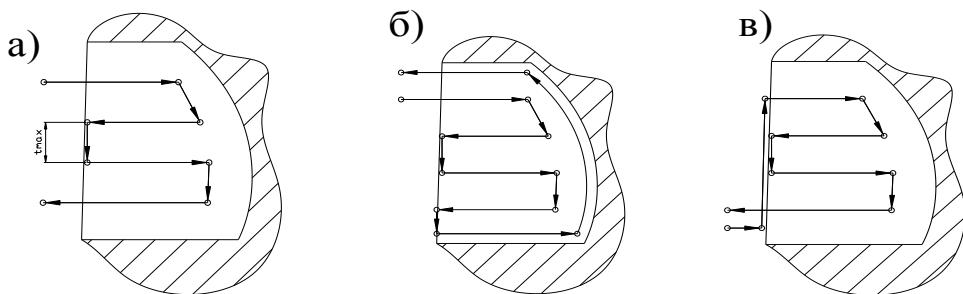


Рис. 4.1. Схемы зигзагообразных фрезерных переходов

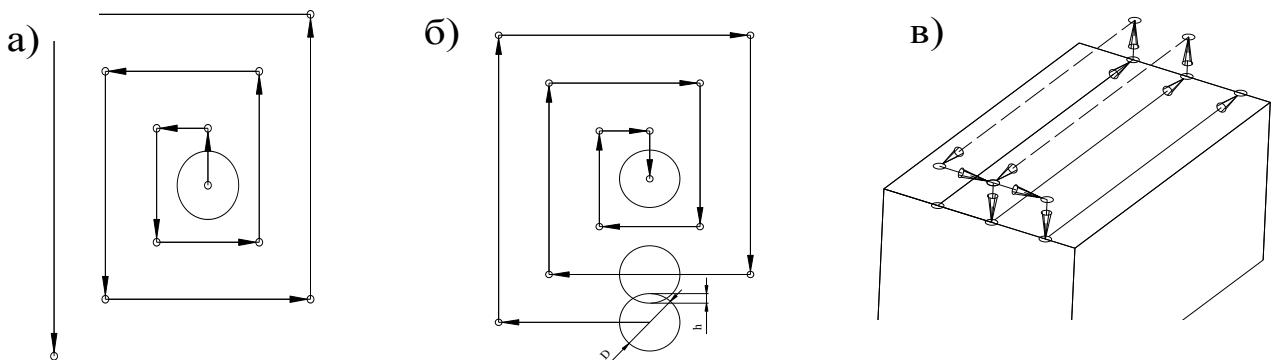
Зигзагообразная схема имеет несколько разновидностей, связанных с порядком обработки границ: без обхода границ

(рис.4.1 (а)), с проходом вдоль границ в конце обработки области (рис. 4.1 (б)), с предварительным проходом вдоль границ (рис. 4.1 (в)).

Спиралевидная схема отличается от зигзагообразной тем, что обработка ведется круговыми движениями инструмента, совершамыми вдоль внешней границы области на разном расстоянии от нее (рис. 4.2 (а, б)). В отличие от зигзагообразной, спиралевидная схема обеспечивает более плавный характер обработки, т. к. направление фрезерования (по или против подачи) неизменно и нет дополнительных изломов траектории. Спиралевидная схема имеет две разновидности: первая характеризуется движением инструмента от центра области к периферии (см. рис 4.2 (а)), а вторая – от границы области к ее центру (см. рис. 4.2 (б)). Каждая из рассмотренных разновидностей спиралевидной схемы имеет два типа: с движением инструмента в направлении по или против часовой стрелки при наблюдении со стороны шпинделя.

Однаковый характер фрезерования можно выдерживать также с помощью схемы Ш-образного типа (рис. 4.2 (в)). Согласно этой схеме инструмент после выполнения прохода вдоль строки отводится на необходимое расстояние от обработанной поверхности и на ускоренном ходу возвращается назад. Ш-образная схема имеет те же разновидности, что и зигзагообразная. Существенный недостаток этой схемы - большое число вспомогательных ходов.

При построении траектории инструмента на черновых переходах необходимо знать расстояние между соседними проходами фрезы, так как оно определяет глубину резания.



4.2. Спиралевидные (а), (б) и Ш-образная (в) схемы фрезерных переходов

Максимально допустимая величина этого расстояния (рис 4.1 (а)) зависит от геометрических параметров используемого инструмента

$$t_{\max} = D - 2r - h_1 ,$$

где  $D$  – диаметр фрезы;  $r$  – радиус скругления у торца;  $h_1$  – перекрытие между проходами (рис. 4.2 (б)), обеспечивающее отсутствие гребешков.

Определенные трудности при программировании представляет спиралевидная схема, которая в идеальном случае должна иметь форму Архimedовой спирали. Практически такую спираль реализовать очень сложно, поэтому обычно обработка ведется по двух- или четырехполюсной спирали (рис. 4.3) [13].

Такая спираль строится путем сопряжения дуг, имеющих общие центры в виде полюсов А и В (рис. 4.3).

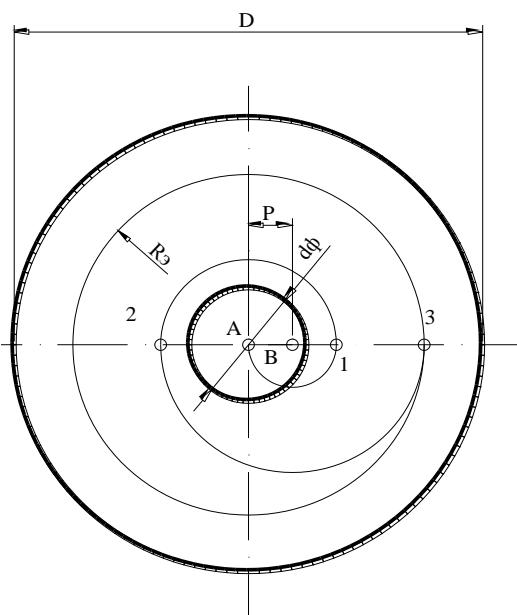


Рис. 4.3. Двухполюсная спираль фрезерных переходов

Исходными данными к расчету параметров фрезы являются:  $D$  – диаметр обрабатываемой поверхности;  $d_\phi$  – диаметр фрезы. Радиус эквидистанты определяется по формуле:

$$R_s = \frac{D - d_\phi}{2} .$$

Далее вычисляется коэффициент  $a$ :

$$\frac{R_s}{0.6d_\phi} \geq a \geq \frac{R_s}{0.8d_\phi}$$

Коэффициент  $a$  принимается как меньшее целое из полученного интервала (например,  $5,7 \geq a \geq 3,4$ , принимаем  $a=4$ ).

Определяем шаг спирали

$$h = R_s / a.$$

Расстояние между полюсами

$$P = h / 2.$$

После того, как определены параметры спирали, выполняем ее построение: наносим первый полюс А в центр обрабатываемой окружности, второй полюс В располагаем на расстоянии Р от первого. Выполняем построение первой дуги: началом служит полюс А, а центром полюс В; ведем ее до пересечения с осевой проходящей через полюса (точка 1 рис. 4.3). Строим следующую дугу: в качестве центра берем противоположный полюс, а началом дуги является окончание предыдущей (полюс А и точка 1 на рис. 4.3). Построение проводим до тех пор, пока спираль не выйдет на эквидистанту.

При программировании фрезерной обработки важно выбрать способ врезания инструмента в металл. Наиболее простой способ – это врезание с подачей вдоль оси инструмента. Однако этот способ, во-первых, не пригоден для фрез, имеющих технологические центровые отверстия, во-вторых, из-за того, что фрезы работают плохо на засверливание – не эффективен. Для использования этого способа рекомендуется предварительно обработать места врезания сверлом (рис. 4.4 (а)).

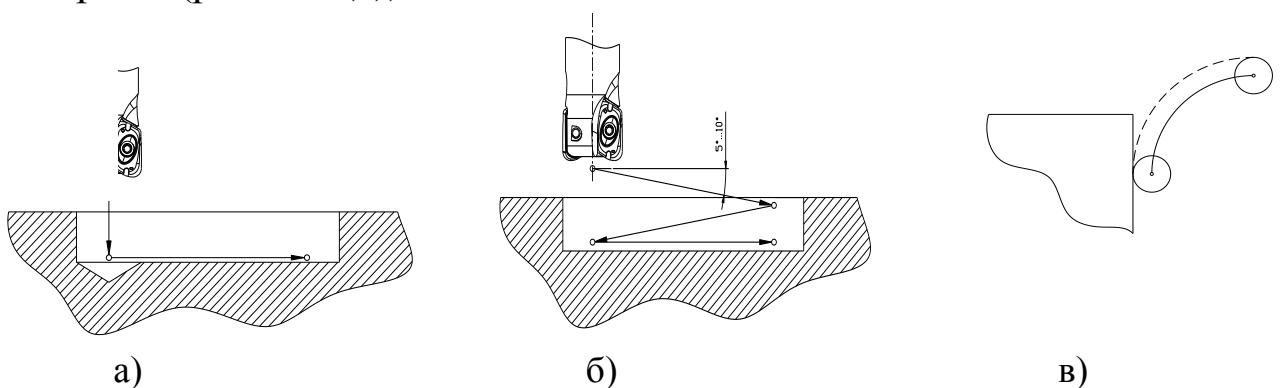


Рис. 4.4. Схемы способов врезания фрезы в металл

К технологическому способу относят врезание при движении инструмента вдоль одной из строк с постепенным его снижением (рис. 4.4 (б)). Этот способ также применяют при движении инструмента по окружности или вдоль границы обрабатываемой области.

При чистовой обработке контуров, как правило, врезание осуществляется по дуге окружности, касательной к контуру в точке, с которой должно быть начало движения инструмента вдоль контура (рис. 4.4 (в)). Такой способ обеспечивает наиболее плавное изменение сил резания и минимальную погрешность обработки в упомянутой точке; он наиболее удобен с точки зрения ввода в управляющую программу коррекции на радиус инструмента [10].

## 4.2. КООРДИНАТНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

При обработке отверстий на сверильных станках с ЧПУ, перемещения инструмента вдоль оси шпинделя (ось Z) разделяют на перемещения, связанные с подводом инструмента к обрабатываемой заготовке детали для врезания, непосредственного резания и перебегом инструмента, выполняемые с различными подачами.

Величины подвода  $l_1$  и перебега  $l_2$  определяются с учетом обеспечения минимальных холостых перемещений с рабочей подачей и плавного ввода инструмента в отверстие и вывода из него, характера предыдущей обработки (наличие зацентровки, диаметр предварительного отверстия), геометрии инструмента. Длина l обрабатываемого отверстия определяется по чертежу детали.

На рис.4.5 представлена схема для расчета перемещений по оси Z (по оси инструмента).

Величина подвода  $l_1=2$  мм, если входная поверхность отверстия обработана, в противном случае –  $l_1 = (t + 6)$  мм, где t – припуск на последующую обработку. Величина перебега  $l_2$  определяется по следующим формулам: при сверлении сквозных отверстий  $l_2 = (0,3D + 2)$  мм, при зенкеровании  $l_2 = (k + 2)$  мм, где k - длина заборного конуса, и при развертывании  $l_2 = (k + 2 + 0,4l_k)$  мм, где  $l_k$  - длина калибрующей части развертки.

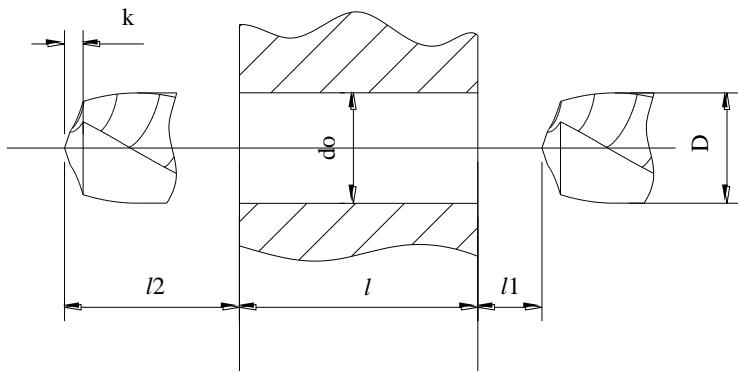


Рис. 4.5. Схема для расчета перемещений инструмента по оси Z

Координатные перемещения в плоскости стола (оси X, Y) определяются согласно чертежу детали.

### 4.3. ОБРАБОТКА СИСТЕМЫ ОТВЕРСТИЙ

Систему отверстий (число отверстий больше двух) в детали можно обрабатывать по двум основным вариантам.

При последовательном варианте (рис. 4.6 (а)) каждое отверстие системы обрабатывают полностью по всем переходам при одном позиционировании стола относительно шпинделя. После полной обработки одного отверстия осуществляется перемещение стола для обработки следующего отверстия и т.д.

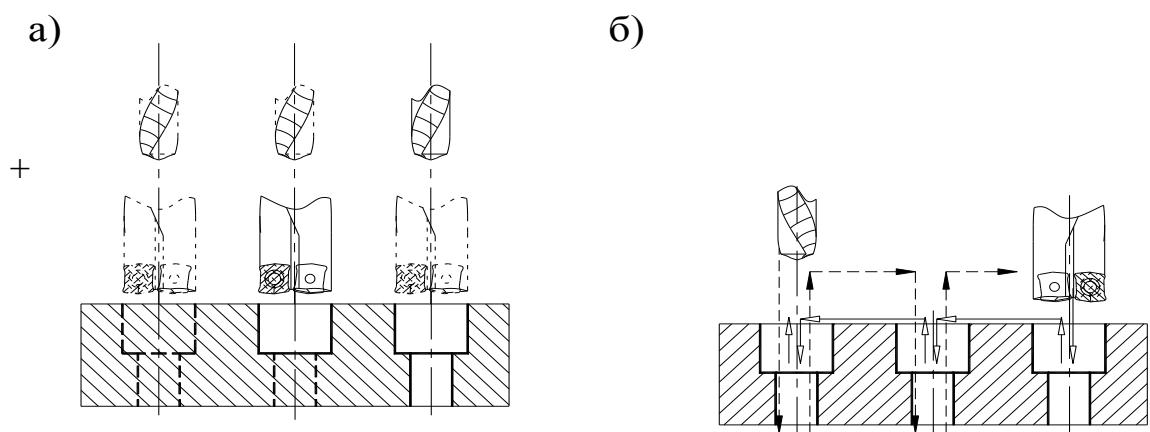


Рис. 4.6. Варианты обработки системы отверстий: а - последовательный; б – параллельный

При параллельном варианте (рис. 4.6 (б)) одним инструментом обрабатывают одинаковые отверстия в системе путем последовательного перемещения стола с заготовкой детали. Затем, инструмент меняют и в той же последовательности обрабатывают эти отверстия системы другим инструментом.

Если системы отверстий располагаются на нескольких сторонах детали, то по завершении обработки всех отверстий на одной стороне заготовку детали поворачивают, и отверстия системы по одному из вариантов обрабатываются на других сторонах.

При выборе варианта обработки систем отверстий предпочтение отдают тому варианту, у которого при одинаковом основном времени будет обеспечено минимальное время на вспомогательные перемещения и обеспечивается требуемая точность обработки. Время вспомогательных перемещений определяется сменой инструмента и позиционированием рабочих органов станка.

Для обработки отверстий 11 и 12 квалитетов несколько производительнее является второй вариант, т. к. позиционирование стола происходит за более короткое время, чем смена инструмента. При обработке отверстий 7...9 квалитетов или отверстий с допусками на межосевые расстояния менее 0,2 мм предварительные переходы (центрование, сверление, зенкерование и цекование) выполняют по второму варианту, а окончательные (зенкерование под развертывание, развертывание и нарезание резьбы) – по первому. Ступенчатые отверстия следует обрабатывать по первому варианту.

Анализ работы станков с ЧПУ показывает, что смена инструмента и поворот стола являются более сложными элементами цикла работы станка, чем позиционирование стола и салазок. Поэтому из эксплуатационных соображений следует работать с меньшим числом смен инструментов и меньшим числом поворотов стола. Тем более, что можно говорить лишь об условно фиксированном положении стола, т. к. практически во всех современных станках с ЧПУ смена инструмента сопровождается перепозиционированием стола. Исходя из этих соображений, предпочтительным следует считать обработку систем отверстий по второму варианту [4].

## 4.4. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ

### 4.4.1. Особенности обработки деталей на многоцелевых станках с ЧПУ

На многоцелевых (сверлильно-фрезерно-расточных) станках с ЧПУ наиболее часто обрабатывают корпусные, плоские и детали сложной конфигурации. Такие детали можно рассматривать как сочетание элементарных поверхностей, что облегчает формализацию разработки ТП и программирование их обработки.

Из элементарных поверхностей на корпусных деталях чаще всего выделяют отверстия, плоскости, пазы, карманы, окна и т. п.

Отверстия корпусных деталей делят на основные, предназначенные для базирования устанавливаемых в корпусе деталей, вспомогательные, в том числе крепежные, и свободные, которые служат для удобства обработки, монтажа, смазки и ремонта. Основные отверстия могут иметь канавки, фаски и выточки. Они подразделяются на гладкие или ступенчатые, односторонние или двусторонние, могут располагаться в одной плоскости или соосно в нескольких параллельных стенках.

Обрабатываемые плоскости, пазы, окна и другие элементы корпусных деталей располагаются перпендикулярно, параллельно или под углом к оси шпинделя.

Многоцелевые станки (МС) заменяют фрезерные, сверлильные, расточные и, в отдельных случаях, токарные станки, так как они позволяют совместить операции фрезерования прямолинейных и криволинейных поверхностей, центрования, сверления, рассверливания, зенкерования, развертывания, цекования, растачивания, раскатывания и накатывания отверстий, нарезания резьбы (метчиками, плашками, резцовыми головками, резцами), круговое фрезерование наружных и внутренних цилиндрических, конических и фасонных поверхностей и круговых пазов концевыми и дисковыми фрезами [1].

Плоскости фрезеруют торцовыми и концевыми фрезами оснащенными твэлосплавными СМП. Обычно это осуществляется в два перехода: черновой и чистовой. Для получения малой

шероховатости поверхности при малых припусках используют торцовые фрезы из эльбора и минералокерамики.

Пазы, окна и уступы обычно обрабатывают концевыми фрезами, оснащенными твердосплавными пластинами. Для повышения точности обработки по ширине паза и сокращения номенклатуры инструментов, диаметр фрезы применяют несколько меньше ширины паза.

Для повышения стойкости, улучшения условий отвода стружки при обработке глухих пазов, используют концевые фрезы с увеличенным углом наклона спирали с полированными канавками. Для облегчения врезания с осевой подачей применяют фрезы с особой заточкой торцовых зубьев. При увеличенных вылетах фрезы, обусловленных конфигурацией заготовки, используют фрезы с усиливательным конусом. Уменьшение вибраций достигается у фрез с тремя и четырьмя зубьями, благодаря различному расстоянию между ними (разношаговые фрезы).

Круговое фрезерование - новая операция обработки отверстий, которая применяется на фрезерных и многоцелевых станках МС с контурным и комбинированным устройством ЧПУ. В этом случае, отверстия, вместо растачивания, можно обработать фрезерованием, для чего фрезе сообщают круговую подачу. Круговое фрезерование рекомендуется использовать для предварительной обработки отверстий длиной до 60...80 мм в литых заготовках (для снятия чернового припуска).

Среди технологических переходов обработки отверстий, выполняемых на МС, отмечают сверление и нарезание резьбы в крепежных отверстиях под болты, винты и шпильки; сверление, зенкерование, развертывание, растачивание точных посадочных отверстий – гладких и ступенчатых; обработку отверстий в литых деталях.

Соосные отверстия в противолежащих стенках корпусных деталей обрабатывают на МС консольно закрепленными инструментами последовательно, с поворотом заготовки вместе со столом станка на  $180^\circ$ . Достигаемая точность зависит от точности поворота делительного стола; погрешность деления не должна превышать половины поля допуска на отклонения взаимного расположения отверстий по чертежу детали.

Для повышения стойкости спиральных сверл используют быстрое автоматическое изменение режима резания. Так, чтобы избежать поломки инструмента из-за скачкообразного изменения нагрузки, рабочую подачу уменьшают на выходе сверла из отверстия; в другом случае в программе меняют частоту вращения шпинделя, когда имеется литейная корка на входе в отверстие или выходе из него.

При обработке системы отверстий широко применяют засверливание отверстий короткими жесткими сверлами – своеобразную разметку расположения осей будущих отверстий. При работе по литейной корке это позволяет решить и другие задачи: облегчить врезание и повысить стойкость сверл небольшого диаметра и, вместе с тем, снять фаску на входе в отверстие, если она предусмотрена чертежом. Засверливание целесообразно использовать для обработки отверстий диаметром до 15 мм в деталях из черных металлов.

Для черновой обработки отверстий в корпусных деталях эффективно применение инструментов, которые раньше назначались при сверлении глубоких отверстий, например двуххромочных сверл с механическим креплением трехгранных твердосплавных пластин. Использование таких сверл, наряду с делением припуска по ширине среза и внутренним подводом СОЖ, позволяет в три-пять раз повысить эффективность резания по сравнению с обычными спиральными сверлами [10].

Большие возможности повышения производительности при обработке отверстий заключаются в использовании комбинированных инструментов разных типов. Так, можно использовать инструмент, сочетающий сверло и зенкер. Применяют и трехступенчатые инструменты, в которых передняя часть (первая ступень) изготовлена из инструментальной стали, а вторая и третья части, работающие с более высокими скоростями резания, оснащены твердосплавными пластинами, такой инструмент работает по ранее просверленному отверстию [10]. Вторая и третья ступени могут иметь различное назначение в зависимости от формы, размеров и расположения твердосплавных пластин.

Если рассматривать полную обработку заготовки детали на МС, то для достижения высокой эффективности всю обработку заготовки стремятся выполнить на одном станке за один-два

установа. Однако, в отдельных случаях из-за опасности искажения формы деталей вследствие перераспределения остаточных напряжений, имеющихся в исходной заготовке, ТП разделяют на операции черновой (обдирочной) и последующей обработок. Черновую обработку выполняют на мощных, жестких станках (с ЧПУ или универсальных), затем заготовки направляют на термообработку для снятия внутренних напряжений. Дальнейшую механическую обработку выполняют на многоцелевом станке.

#### **4.4.2. Последовательность выполнения операций на МС**

Последовательность переходов обработки точных плоских поверхностей и отверстий должна устанавливаться с учетом уменьшения влияния на точность обработки таких факторов, как геометрические неточности станка и его наладки, инструмента и его наладки на размер, погрешности базирования и закрепления заготовки, температурные и другие деформации элементов технологической системы, перераспределение напряжений и деформаций заготовки в процессе ее обработки и т. д.

Температурные деформации возникают, обычно, при выполнении в одной операции черновых фрезерно-расточных переходов, связанных со снятием больших припусков, с чистовыми переходами обработки точных поверхностей и основных отверстий. Поэтому, перед чистовыми переходами рекомендуется удалить из внутренних полостей заготовки стружку, аккумулирующую основное количество теплоты, выделяющейся при резании, и убедиться в том, что температура заготовки находится в допустимых пределах.

Корпусные детали с высокими требованиями к точности обрабатывают в следующей последовательности. Вначале фрезеруют плоские поверхности, затем обрабатывают точные основные отверстия детали, крепежные и другие неосновные отверстия на всех сторонах. При такой обработке удается уменьшить влияние температурных деформаций элементов технологической системы и, в первую очередь, станка на точность обработки.

На станках, оснащенных программно-управляемым плансуппортом, можно уменьшить число необходимых

инструментов в магазине станка, объединить несколько переходов растачивания отверстий, обработки торцов и канавок, размеры которых близки в пределах радиального перемещения расточной оправки плансуппорта. В этом случае, все переходы, которые выполняются одной расточной оправкой, установленной в плансуппорте, группируются в один переход и осуществляются последовательно с изменением по программе положения расточной оправки относительно оси вращения.

Если деталь, обрабатываемая на МС, подвергается промежуточной термообработке или имеет точные отверстия и плоскости, то в общем случае рекомендуется следующая последовательность операций:

1. Первая черновая операция: обработка детали с двух-трех сторон (плоскости и отверстия большого диаметра); в качестве базы используют достаточно большие плоскости, обеспечивающие хорошую и надежную установку заготовки, возможность производительного снятия больших припусков.

2. Вторая черновая операция: обработка остальных сторон заготовки с установкой по обработанным в предыдущей операции поверхностям, создание технологических баз для последующей обработки.

3. Первая чистовая операция: обработка базовой и противобазовой плоскостей детали и всех элементов (пазов, уступов, отверстий), расположенных на этих плоскостях, в том числе основных отверстий.

4. Вторая чистовая операция: обработка остальных четырех сторон детали с установкой по обработанным в предыдущей операции базам, в том числе обработка основных отверстий, пазов и уступов, вспомогательных и крепежных отверстий [10].

При повышенных требованиях к точности детали, превосходящих точностные возможности МС, выполняют получистовую обработку соответствующих плоскостей и отверстий с припуском под последующую обработку.

#### **4.4.3. Последовательность выполнения переходов на МС**

Представление детали в виде набора разнообразных элементарных поверхностей, необходимость в черновых,

получистовых и чистовых проходах при обработке каждой поверхности, значительное число инструментов в магазине усложняют выбор плана операций обработки детали на МС. К тому же этот выбор становится многовариантным. Так, можно сначала заготовку полностью обработать с одной стороны, затем развернуть ее; можно обработать сначала со всех сторон начерно, затем приступить к чистовой обработке; можно сначала обработать все плоскости, затем приступить к обработке отверстий [1]. Общий план операций обработки корпусных деталей представлен в табл. 4.1 [7].

При решении задачи выбора варианта плана операции руководствуются следующими общими принципами:

- чем выше точность элемента конструкции детали, тем позже следует предусматривать его обработку;
- сначала следует планировать черновую обработку, затем чистовую;
- чем меньше время срабатывания исполнительного органа (смена инструмента, поворот стола и др.), тем чаще этот орган должен функционировать [10].

**Таблица 4.1**  
План операций обработки заготовок деталей с использованием МС

Номер перехода	Содержание перехода	Инструмент
1	Черновое, получистовое, чистовое фрезерование внешних поверхностей	Фрезы торцовые
2	Сверление (рассверливание) отверстий диаметром выше 30 мм в сплошных стенках: сквозное - основных отверстий, глухое - для ввода концевых фрез	Сверла
3	Фрезерование пазов, отверстий, окон, карманов	Фрезы концевые
4	Фрезерование внутренних поверхностей, перпендикулярных оси шпинделя	Фрезы торцовые, концевые
5	Черновое зенкерование и растачивание основных отверстий в сплошных стенках после перехода №2	Зенкеры, резцы, расточные
6	Обработка дополнительных поверхностей (канавок, уступов, фасок и др.), расположенных в основных отверстиях и концентрических оси	Фрезы, резцы, зенковки

Окончание табл.4.1

<b>Номер перехода</b>	<b>Содержание перехода</b>	<b>Инструмент</b>
7	Обработка дополнительных поверхностей на внешних и внутренних плоскостях и на необрабатываемых поверхностях	Фрезы концевые, шпоночные
8	Обработка крепежных и других вспомогательных отверстий диаметром выше 15 мм.	Сверла, зенкера, метчики
9	Снятие фасок	Фрезы угловые
10	Перезакрепление детали; проверка положения рабочих органов станка	
11	Окончательное фрезерование плоскостей	Фрезы торцовые
12	Обработка точных поверхностей основных отверстий	Резцы расточные, развертки,
13	Обработка точных отверстий малого диаметра	Сверла, резцы расточные, развертки
14	Обработка точных и точно расположенных в отверстиях дополнительных поверхностей (канавок, выемок, уступов)	Резцы расточные, фрезы дисковые
15	Обработка дополнительных поверхностей (выемок, пазов, карманов, прорезей), расположенных асимметрично относительно отверстий	Фрезы и резцы различного назначения
16	Обработка обратных фасок и других поверхностей, связанных с основными отверстиями	Фрезы дисковые, угловые; резцы канавочные, фасонные
17	Обработка крепежных и других отверстий малого диаметра	Сверла, зенкеры, зенковки, метчики

## ГЛАВА 5. ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

### 5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Станки должны обеспечивать требуемую траекторию взаимного перемещения обрабатываемой заготовки и инструмента. Однако, вследствие элементарных погрешностей, реальная траектория отличается от требуемой. В некоторых случаях (при рассмотрении отклонений формы, расположения поверхностей детали) погрешности станка являются доминирующими. Необходимо уменьшить погрешности станка до величин, в 3–5 раз меньше по сравнению с наименьшими допустимыми погрешностями поверхностей деталей, обрабатываемых с использованием этого станка.

Необходимая точность станков обусловлена совершенством их конструкции, погрешностями, возникающими при изготовлении деталей и сборке станка, и погрешностями, допустимыми при наладке и регулировании технологической системы. В наибольшей степени на точность обработки влияют такие погрешности станка, как кинематическая точность механизмов, погрешность позиционирования рабочих органов станка и т. п. Кроме этого, важным является уменьшение чувствительности станка к внешним и внутренним воздействиям (силовым, тепловым и т. п.). По мере изнашивания, начальная точность станка меняется. Поэтому следует осуществлять контроль, осмотры, проверку точности и периодическое регулирование узлов станка, которые обеспечивают длительное сохранение требуемой точности.

Точность позиционирования рабочих органов определяется не только точностью самого станка, но и зависит от типа системы ЧПУ (конструкции, места установки импульсного преобразователя ИП, точностных параметров ИП и т. д.). Так, при использовании шагового привода, погрешность перемещения рабочих органов станка определяется погрешностью отработки шаговым двигателем командных импульсов, погрешностями гидроусилителя, зубчатой передачи и передачи винт – гайка, а также погрешностями рабочего органа станка.

При применении следящего привода подачи с замкнутой схемой управления, наблюдается два вида погрешностей, снижающих точность перемещений рабочих органов [9]:

1) погрешности элементов привода подачи и рабочего органа, не охватываемые системой обратной связи;

2) погрешности результатов измерения перемещения или угла поворота рабочего органа станка измерительным преобразователем.

Первая группа погрешностей появляется, в основном, при использовании систем обратной связи с круговым ИП. Преобразователи устанавливают на ходовом винте или измеряют перемещение рабочего органа через реечную передачу. В первом случае система обратной связи не учитывает погрешности передачи винт – гайка (накопленную погрешность по шагу ходового винта; зазоры в соединении винт – гайка и в опорах винта; упругие деформации ходового винта, его опор и соединения винт – гайка; тепловые деформации ходового винта и др.), а также погрешности рабочего органа (отклонения от прямолинейности и параллельности перемещений; зазоры в направляющих; упругие деформации рабочего органа и др.). Во втором случае на точность измерений влияют погрешности реечной передачи (накопленная погрешность по шагу рейки, ее тепловые деформации, зазоры в зацеплении и др.).

Погрешность результатов измерения угла поворота или перемещения рабочего органа станка обусловливается погрешностью ИП, вызванной погрешностями его изготовления и установки на станке, погрешностями, которые появляются в процессе эксплуатации ИП и станка. Так, при эксплуатации линейных ИП может меняться величина зазора между его подвижными и неподвижными элементами.

В общем балансе погрешностей обработки на станках с ЧПУ значительную долю занимают погрешности, обусловленные тепловыми деформациями механизмов станка, приводящими к изменению относительного положения инструмента и заготовки в направлениях осей координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и угловых поворотов вокруг этих осей. Их значение и направление действия в значительной степени определяется компоновкой и конструкцией базовых деталей и механизмов станка и размещением тепловыделяющих элементов относительно базовых деталей и механизмов станка, они

зависят от качества изготовления и сборки станка и условий его эксплуатации.

Наибольшее влияние на температурные деформации оказывают собственные источники тепла станка и устройства ЧПУ, выделяющие тепло вследствие:

1) превращения электрической энергии;

2) превращения механической энергии (потери на трение в подшипниках шпинделя, в зубчатых и червячных передачах, в передаче винт – гайка, в фрикционных муфтах и тормозах, в направляющих, в местах уплотнения валов и др.);

3) потери энергии в гидроустройствах станка.

Электрические и механические потери в станке могут достигать 30% мощности, подводимой к станку. Значительными внутренними источниками тепла в станке являются опоры шпинделя. Температурные деформации подшипников шпинделей изменяют предварительный натяг в них и могут привести к повышенному изнашиванию подшипников.

При работе станка с ЧПУ происходит неравномерный нагрев его механизмов и деталей, вызывающий изменение их размеров, формы и относительного положения в пространстве, что приводит к изменению положения оси шпинделя относительно стола координат нулевой точки; отклонению от прямолинейности перемещения подвижных органов станка; нарушению стабильности работы систем обратной связи и др.

Точность станков с ЧПУ повышается путем рациональной компоновки и конструирования основных базовых деталей и механизмов, применения в приводах подач высокомоментных электродвигателей постоянного тока, синхронных и асинхронных двигателей с водяным охлаждением, беззазорных механизмов и устройств, имеющих высокий КПД, направляющих с малыми потерями на трение, стабилизации или компенсации отдельных погрешностей станка предыскажением программы управления, введением корректирующей программы в память системы ЧПУ при применении дополнительных обратных связей.

Влияние температурных деформаций на точность станков с ЧПУ снижается путем их компенсации (предварительным нагревом до стабилизации теплового поля и температурных деформаций); уменьшением количества тепла, выделяющегося при работе станка;

снижением чувствительности станка к изменению температуры нагрева деталей и узлов станка.

Количество тепла, выделяемое в станке, можно уменьшить двумя путями: 1) выносом тепловыделяющих механизмов (насосных установок, приводных двигателей, масляных баков, гидроаппаратуры и др.) из станины или других базовых деталей станка; 2) использованием конструкций с небольшим тепловыделением, что достигается применением шпиндельных подшипников с меньшим тепловыделением; использованием, соответствующего смазочного материала; сокращением длины кинематических цепей. Зубчатые и клиноременные передачи рекомендуется размещать так, чтобы потоки воздуха уносили часть выделяемого тепла.

Уменьшение «чувствительности» станка к изменению его тепловых полей достигается изготовлением деталей станка из материалов с малым коэффициентом линейного расширения, теплоизоляцией источников тепла, созданием термосимметричной конструкции станка и его механизмов. Влияние температурных деформаций может быть уменьшено соответствующим взаимным расположением фиксирующих элементов, например упорных подшипников в шпинделе (в передней или задней опоре), места крепления шпиндельной бабки на станине и др.

Эффективным методом снижения температурных деформаций является охлаждение станка, включая его активные элементы (подшипники шпинделя, муфты, тормоза, электродвигатели и др.), и пассивные элементы, переносящие тепло (масла и охлаждающие жидкости) путем создания естественного или искусственного потока воздуха, отвода тепла с помощью охлаждающих устройств и др.

При обработке заготовок деталей на станках с ЧПУ точность диаметральных размеров зависит от погрешности наладки инструмента вне станка, погрешностей изготовления прибора для наладки инструмента, оправок, конусного отверстия в шпинделе станка. Обычно применение инструмента, наложенного вне станка, обеспечивает получение диаметральных размеров по 8–9-му квалитету. При более высоких требованиях к точности необходима подналадка инструмента на станке.

Погрешность формы в продольном сечении отверстия определяется отклонением от прямолинейности перемещений

шпинделя или стола станка в осевом направлении, упругими и температурными деформациями технологической системы, размерным износом инструмента, уводом инструмента.

Погрешность формы отверстия в поперечном направлении определяется периодическими смещениями инструмента и заготовки в процессе обработки (за один оборот), обусловленными изменением параметров режима (в первую очередь глубины резания из-за неточности заготовки), параметров станка (кинематических погрешностей, неравномерной жесткости) и технологической оснастки (например, неодинаковой жесткости кулачков патрона).

Погрешности воспроизведения на детали контура, заданного программой управления, складываются из многих факторов, как конструктивных, определяемых принципом действия устройства ЧПУ, приводов, конструкций элементов станка, так и технологических, обусловленных режущим инструментом, приспособлением, режимом обработки материалом детали и т. д.

К типовым конструктивным погрешностям обработки, свойственным станкам с ЧПУ, относят [9]:

- 1) скоростьную погрешность следящего привода;
- 2) погрешность, возникающую в связи с неравенством и непостоянством коэффициентов усиления приводов подач по разным координатам перемещения станка, а также с изменением их при изменении подачи; такие явления имеют место, например, при нелинейности (несимметричности, синусоидальности) статической характеристики фазового дискриминатора в рабочей зоне;
- 3) погрешность вследствие зазоров в кинематических цепях станка, не охваченных обратной связью;
- 4) погрешность в результате колебательности приводов, которая приводит к ухудшению качества обработки, в основном, из-за появления неравномерной волны на обрабатываемой поверхности, шаг которой зависит от скорости подачи, т. к. частота колебаний привода сохраняется примерно постоянной;
- 5) погрешность вследствие периодической внутришаговой погрешности датчиков обратной связи, главным образом, фазовых; эта погрешность выражается в появлении волны на обрабатываемой поверхности, шаг которой зависит от цены оборота фазы приводов и от угла наклона обрабатываемого контура

детали к направлениям перемещений рабочих органов по координатам станка.

## 5.2. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ЛИНЕЙНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Под погрешностью позиционирования  $\Delta x_{\text{поз}}$  понимается отклонение действительного положения (например,  $x_i$ ) рабочего органа станка от заданного  $x$ :  $\Delta x_{\text{поз}} = x_i - x$ . В ГОСТ 370–81Е принята следующая методика определения погрешности позиционирования. По каждой из осей, по которым проверяют погрешность  $\Delta x_{\text{поз}}$  измерения, проводят в  $j$  точках, расположенных произвольно примерно с интервалами  $L_j \approx 0,08l$ , где  $l$  – длина измеряемого перемещения. В каждом направлении перемещения по оси отдельно осуществляют не менее пяти измерений ( $i=1, 2, 3, 4, 5$ ). Среднее отклонение от заданного положения рабочего органа в каждой точке  $j$

$$\Delta \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_{ij}$$

размах отклонений

$$R_j = \max \Delta x_{ij} - \min \Delta x_{ij}$$

Средний размах определяют как среднее арифметическое значений в данной и соседней точках:

$$\bar{R}_j = \frac{1}{3} (R_{j-1} + R_j + R_{j+1})$$

В крайних точках учитывают только одну соседнюю точку, например,

$$\bar{R}_1 = \frac{1}{2} (R_1 + R_2)$$

Затем вычисляют оценку среднего квадратического отклонения

$$S_j = \frac{\bar{R}_j}{d_n}$$

где  $d_n$  – коэффициент, определяемый в зависимости от числа повторных подходов в заданное положение; при  $n = 5$  имеем  $1/d_n = 0,4299$ ; при  $n = 10$   $1/d_n = 0,3249$ .

Распределение принимают нормальным; тогда ширину поля рассеяния отклонений от заданного положения при повторном позиционировании в одном направлении с вероятностью 99,73 % определяют как  $\omega = 6S_j$ .

Точность одностороннего повторного позиционирования (рис. 5.1)

$$R_{\max} = \max(6S_j)$$

Точность одностороннего позиционирования

$$M = \max(\Delta\bar{x}_j + 3S_j) - \min(\Delta\bar{x}_j - 3S_j)$$

Точность двустороннего позиционирования

$$M_{ar} = \max(\Delta\bar{x}_{ja} + 3S_{ja}) - \min(\Delta\bar{x}_{jr} - 3S_{jr})$$

где а, р – индексы направления позиционирования.

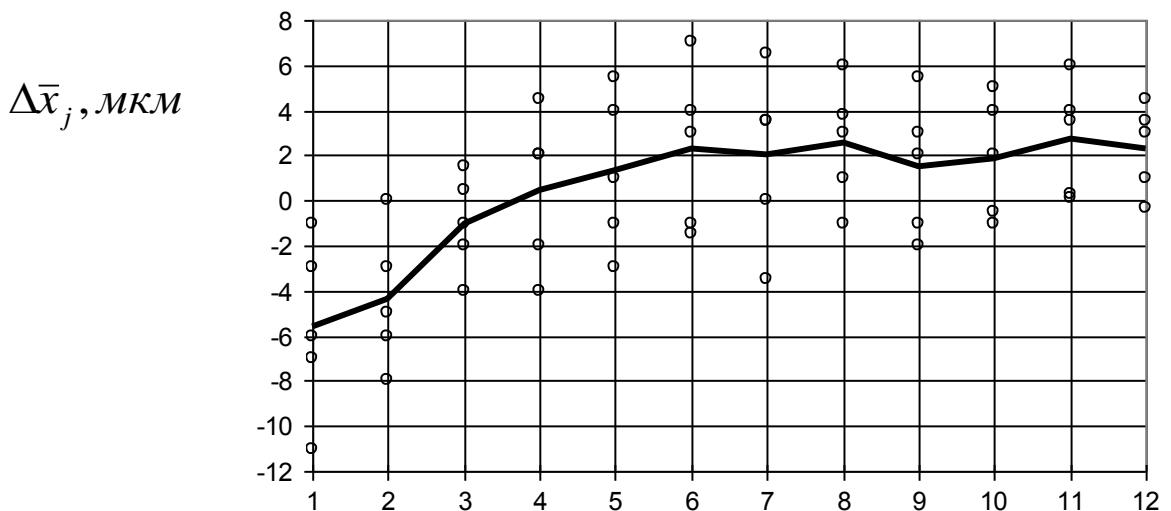


Рис. 5.1. График отклонений от заданного положения рабочего органа станка при определении точности линейного позиционирования

Значения  $M$  и  $M_{ar}$  определяют для тех случаев, когда зависимости  $(\Delta\bar{x}_j + 3S_j); (\Delta\bar{x}_{ja} + 3S_{ja})$  и  $(\Delta\bar{x}_j - 3S_j); (\Delta\bar{x}_{jr} - 3S_{jr})$  соответственно принимают наибольшие и наименьшие значения

(с учетом знака указанных величин); значения  $j$  при этом, как правило, не совпадают.

Величина  $\Delta p_{\text{поз}}$  зависит от погрешностей устройства ЧПУ, привода подач, измерительных преобразователей, геометрических погрешностей станка и т. п. Погрешность позиционирования обусловлена действием как систематических, так и случайных отклонений. В приводах подач токарных и фрезерных станков с ЧПУ с ходовым винтом и круговым датчиком обратной связи систематические отклонения обусловлены накопленной погрешностью винта, непараллельностью направляющих (систематические отклонения первого рода), внутришаговой погрешностью винта, погрешностью датчика обратной связи (систематические отклонения второго рода, повторяющиеся за каждый оборот винта). Для указанного привода систематические погрешности являются доминирующими (в 3-10 раз больше случайных).

### **5.3. СПОСОБЫ НАЛАДКИ СТАНКОВ С ЧПУ СВЕРЛИЛЬНО-ФРЕЗЕРНО-РАСТОЧНОЙ ГРУППЫ**

Достижение заданной точности расположения обработанных на станке с ЧПУ поверхностей относительно баз заготовки, даже с допустимым отклонением  $\pm 0,05$  мм, связано с необходимостью точной выверки положения системы координат детали (т. е. положения установочных элементов приспособления или баз заготовки) относительно системы координат станка. С этой целью осуществляют наладку нулевого положения. Комплекс приемов наладки учитывает способ установки заготовки для обработки, вид используемого при наладке инструмента, конструктивные особенности станка, УЧПУ и условия использования станка. Ориентацию заготовки на столе станка или в приспособлении проводят по трем плоскостям; по плоскости и двум установочным пальцам (один из которых срезанный); по цилиндрической поверхности и угловому упору.

Чаще всего наладку нулевого положения осуществляют по цилиндрической поверхности (пальцу или отверстию в плите, пальце) и по боковым поверхностям. При этом в зависимости от

требуемой точности используют центр (рис. 5.2 (а)), оптическое устройство для установки по боковой поверхности, контрольную оправку (рис. 5.2 (б)), центроискатель (рис. 5.2 (в)).

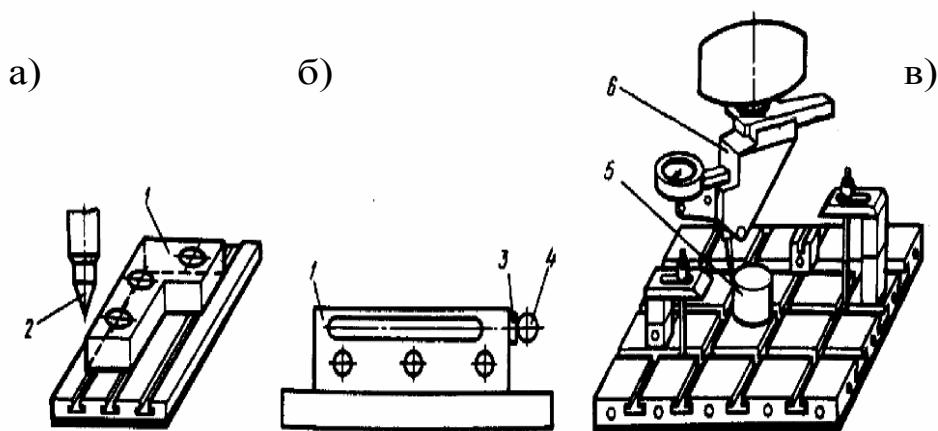


Рис. 5.2. Способы наладки нулевого положения: а - по боковой поверхности с помощью центра; б - по боковой поверхности с помощью контрольной оправки; в - по пальцу с помощью центроискателя; 1- заготовка; 2 – центр; 3 – мерная плитка; 4 – контрольная оправка; 5 – установочный палец; 6 – центроискатель

В комплекс приемов по наладке нулевого положения по боковым поверхностям входит: установка органов управления станком и УЧПУ в положение для осуществления наладки; установка центроискателя или контрольной оправки, оптического устройства в шпиндель станка; совмещение оси шпинделя с базой заготовки или приспособления, или определение расстояния между боковой поверхностью и шпинделем, или контрольной оправкой с помощью мерных плиток; ввод фактического положения исполнительных органов станка; снятие контрольных приспособлений. Наладку нулевого положения по отверстию осуществляют в такой же последовательности, только в этом случае с необходимой точностью ось шпинделя совмещают с осью отверстия.

В качестве примера можно рассмотреть последовательность наладки вертикального обрабатывающего центра компании «Leadwell» [12].

Обычно инструменты, используемые при обработке, имеют различные геометрические параметры, т. е. их режущие кромки находятся в различных точках пространства. Операция, во время

которой мы сообщаем станку, где именно находятся эти точки, называется привязкой инструмента.

Для привязки могут использоваться различные ручные и автоматические приспособления. В качестве примера рассмотрим датчик касания TS-27 и лазерный датчик NC-3 фирмы «Renishaw» (рис. 5.3, 5.4).

После установки любого датчика на столе станка следует его откалибровать. Это осуществляется для того, чтобы сообщить системе ЧПУ координаты центра датчика в плоскости XY и задать начальный «нулевой» уровень по оси Z.



Рис. 5.3. Фотографии измерительного датчика TS-27: а – общий вид; б – измерение диаметра торцовой фрезы

Для калибровки датчика TS-27 (рис. 5.3) необходим инструмент, корректор на длину которого известен, и шлифованный валик с минимальным биением диаметром 10-20 мм. Подведем инструмент примерно к точке на 10 мм выше датчика соосно с ним и запустим программу (обычно каждая система ЧПУ имеет встроенные программы по привязке и измерению инструмента при помощи датчика, поставляемого как опция к станку). Когда станок отработает и остановится, необходимо заменить инструмент на валик, подвести его в ту же точку и запустить программу дальше.

Для калибровки датчика NC-3 (рис. 5.4) необходим только шлифованный валик диаметром 30-50 мм. Подведем его к точке, которая находится приблизительно посередине датчика и на 10 мм выше лазерного луча, и запустим программу.

После калибровки датчика выполняют последовательно привязку всех инструментов, которая заключается в последовательном соприкосновении инструмента с измерительной системой датчика в процессе исполнения специальной программы.

После привязки инструмента обычно выполняется привязка к нулю детали. При написании программы обработки программист принимает за точку отсчета какую-то реальную или мнимую точку (центр симметрии и т. п.) детали. После установки заготовки на станок, оператор должен сообщить станку, где находится эта «нулевая» точка, т. е. задать локальную систему координат. Это можно сделать, используя либо фрезу, либо специальные ручные и автоматические датчики.

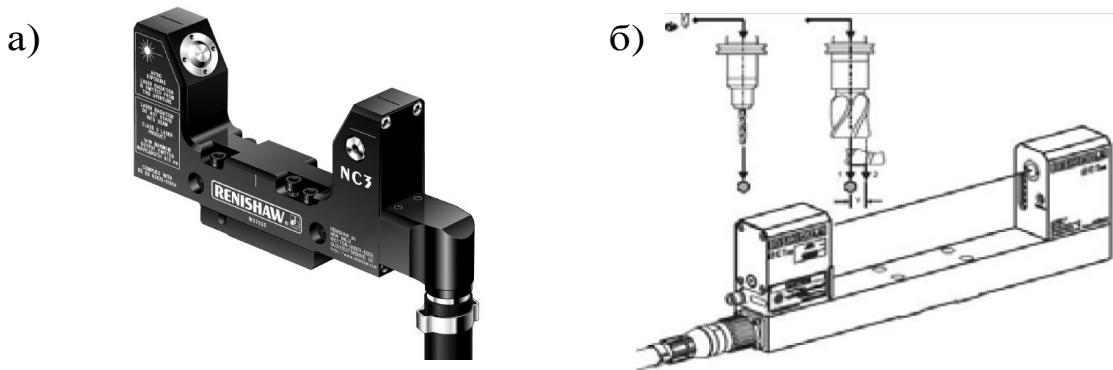


Рис. 5.4. Лазерный датчик NC-3: а – фотография внешнего вида; б – схема измерения

Порядок привязки ноля детали следующий: с помощью врачающейся фрезы, либо датчика (на пример PM-20 (рис. 5.5)), коснемся одной стороны детали (рис. 5.6). Далее необходимо сообщить станку, что шпиндель находится в нулевой точке на одной из осей (в зависимости от стороны детали), и при этом при необходимости следует учесть диаметр датчика.



Рис. 5.5. Фотография датчик касания PM-20

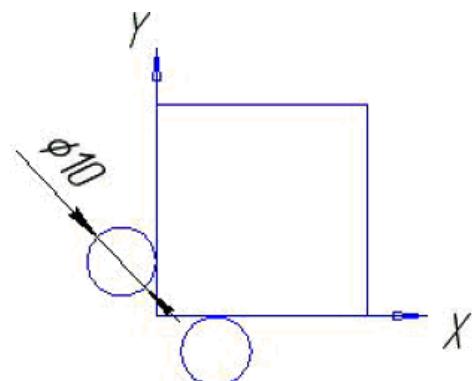


Рис. 5.6. Пример привязки нуля детали

Затем касаемся второй стороны детали и повторяем действия. Процесс привязки нуля детали можно автоматизировать с помощью измерительной головки, устанавливаемой в шпиндель станка (рис. 5.7).



Рис. 5.7. Фотография автоматической измерительной головки

Обмен информацией между головкой и системой ЧПУ осуществляется по инфракрасному или радиоканалу в зависимости от модели. Подобные датчики можно использовать не только для установки начала системы координат, но и для измерения различных элементов детали (отверстие, бобышка, паз, выступ).

#### **5.4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАНКОВ С ЧПУ**

На основе обобщения опыта эксплуатации станков с ЧПУ [9] установлено, что если при их внедрении штучное время обработки сокращается на 50 %, по сравнению с обработкой на станках с ручным управлением, то, несмотря на дополнительные затраты, обеспечивается общее сокращение расходов. Наибольший экономический эффект обеспечивает обработка заготовок деталей на станках с ЧПУ, изготовление которых на станках с ручным управлением связано с использованием дорогостоящей технологической оснастки (кондукторов, копиров, фасонных

режущих инструментов и т. д.), большими затратами времени на наладку технологической системы, по сравнению с оперативным временем.

На станках с ЧПУ целесообразно изготавливать детали сложной конфигурации, при обработке которых необходимо одновременное перемещение рабочих органов станка по нескольким осям координат (контуранная обработка), детали с большим числом переходов обработки (эффект обеспечивается в том числе из-за уменьшения брака). На станках с ЧПУ достаточно легко и с меньшими затратами можно откорректировать программу управления, поэтому на этом оборудовании можно изготавливать детали, конструкция которых часто меняется. На этих станках могут работать операторы более низкой квалификации, чем на универсальных станках с ручным управлением.

Для станков с ЧПУ разработаны рекомендации по повышению эффективности их использования, учитывающие особенности конструкции станков и устройств ЧПУ. Наиболее общие рекомендации таковы:

1. Целесообразно использовать многоместные приспособления, обеспечивающие обработку нескольких одинаковых или разных по конструкции деталей

2. На станках с ЧПУ следует применять промежуточные плиты с точно обработанными отверстиями или пазами, что сокращает время наладки и переналадки оборудования на новую деталь; кроме того, это предохраняет от изнашивания рабочие поверхности стола и т. д.

3. Необходимо учитывать время позиционирования, смены инструмента, поворота стола, что позволит правильно назначать последовательность обработки отверстий (с учетом реальных затрат времени, одним инструментом обрабатывают ряд отверстий одного диаметра или каждое отверстие обрабатывают полностью со сменой инструмента).

4. Рекомендуется, когда это возможно, вначале выполнять переходы, требующие наибольшей частоты вращения шпинделя (например, вначале целесообразно сверлить отверстие малого, а затем большого диаметра); следует избегать частых скачкообразных изменений частот вращения шпинделя.

5. Так как станки с ЧПУ дороги, то следует, по возможности, использовать самые совершенные инструменты и назначать

интенсивные режимы обработки. Целесообразно применять инструменты со сменными пластинами с покрытием (в том числе и для сверления и развертывания), инструмент, оснащенный композитами. Комбинированный инструмент позволяет уменьшить затраты времени на смену инструмента, позиционирование стола и т. д., при этом уменьшается число инструментов, необходимое для обработки поверхностей детали, и нужное число гнезд в инструментальном магазине.

6. На станках с ЧПУ следует использовать инструмент точного исполнения, небольшой длины, т. к. при этом выше режимы обработки, точность, стойкость и надежность инструмента. Весь инструмент необходимо налаживать вне станка.

7. На станке следует пользоваться устройством для контроля состояния режущей кромки. Состояние инструмента, используемого на финишных переходах, необходимо контролировать с целью оперативной его подналадки в процессе обработки; с этой же целью можно контролировать точность обработки детали.

8. В некоторых случаях целесообразно применять многошпиндельные приспособления и головки или столы, позволяющие, например, на станке с горизонтальным шпинделем обрабатывать поверхности, расположенные произвольным образом относительно основной базы детали.

Общая рекомендация при использовании дорогостоящих станков с ЧПУ – нельзя экономить время на технологические разработки, выбор оптимальных режимов резания, технологической оснастки. Широкое применение современных высококачественных инструментов, разнообразных приспособлений, устройств контроля, диагностики, автоматической загрузки станков позволяет существенно повысить эффективность использования станков с ЧПУ.

Эффективность работы станков с ЧПУ может быть обеспечена только при применении рациональной системы технического обслуживания. В течение месяца после сдачи в эксплуатацию станок с ЧПУ должен работать со средней нагрузкой и на средних частотах вращения и подачах. Примерно через 200 ч работы следует остановить станок и, произведя его осмотр и промывку, заполнить все резервуары, картеры и индивидуальные смазочные

точки свежим смазочным материалом. С этого момента станки с ЧПУ обслуживаются по графику.

Станки с ЧПУ, независимо от класса точности, должны использоваться только для работ, ограниченных технологическим назначением станка, допустимыми нагрузками, размерами фрез, сверл и т. д. Заготовки, подлежащие чистовой обработке на станках с ЧПУ, не должны иметь ржавчины, окалины, пригаров формовочной земли. Базы заготовок, подлежащих обработке на прецизионных станках с ЧПУ, должны быть предварительно чисто обработаны.

Станки с ЧПУ высокого класса точности не следует использовать для обработки деталей, которые по точности, заданной чертежом, могут быть обработаны на станках более низкого класса точности. Предварительную обработку отверстий, подлежащих растачиванию на координатно-расточных станках с ЧПУ, следует проводить на сверлильных, фрезерных и расточных станках нормальной точности с оставлением необходимого припуска под последующую обработку. Детали, обрабатываемые непосредственно на столах координатно-расточных станков с ЧПУ, следует устанавливать на специальные мерные, закаленные, шлифованные и доведенные прокладки толщиной не менее 25 мм. Перед установкой заготовки стол, прокладки и базы заготовки должны быть проверены и тщательно протерты.

Для предупреждения преждевременного изнашивания направляющих или образования задиров на них, изнашивания шпиндельных подшипников запрещается на станках с ЧПУ устанавливать заготовки, масса которых выше, чем указано в паспорте станка. Для обеспечения равномерного изнашивания столов рекомендуется небольшие заготовки закреплять на разных участках стола. На координатно-расточных станках с ЧПУ не следует обрабатывать заготовки, габариты которых превышают допустимые. Особенно нежелательна обработка заготовок на одностоечных станках, ширина которых превышает ширину стола, неравномерно расположенных (т. е. смещенных в одну сторону) на столе. Не допускается чрезмерное затягивание гаек крепления заготовки, размещение заготовки, детали и инструмента на столах и направляющих станков.

Не допускается работа на станках с ЧПУ затупившимся инструментом и инструментом со сломанными режущими

лезвиями. У инструментов, закрепляемых на шпиндельях и револьверных головках станков, необходимо ежедневно проверять состояние поверхностей хвостовиков.

Сохранение первоначальной точности станков с ЧПУ требует их периодического регулирования. Профилактическое регулирование выполняется по данным ежедневных и периодических осмотров и проверок геометрической и кинематической точности станков с ЧПУ в работе. Конструктивные решения, обеспечивающие сохранение точности, различны. Обычно в конструкции предусмотрены следующие регулировки, определяющие точность станков: восстановление прямолинейности перемещений столов, кареток, суппортов, салазок, траверс и шпиндельных бабок; устранение зазоров в салазках и столах; компенсация зазоров в цепях, связывающих движение шпинделя с перемещениями стола; устранение осевого и радиального биений шпинделей; устранение зазоров в винтовых парах и т. д.

## ГЛАВА 6. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ С ЧПУ

### 6.1. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТАНКОВ С ЧПУ

По технологическому назначению и функциональным возможностям системы ЧПУ подразделяют на четыре группы:

- позиционные, в которых задают только координаты конечных точек положения исполнительных органов после выполнения ими определенных элементов рабочего цикла (сверлильные, расточные и координатно-расточные станки);
- контурные или непрерывные, управляющие движением исполнительного органа по заданной криволинейной траектории (различные токарные, фрезерные и круглошлифовальные станки);
- универсальные (комбинированные), в которых осуществляется программирование как перемещений при позиционировании, так и движения исполнительных органов по траектории, а также смены инструментов и загрузки-выгрузки заготовок (многоцелевые токарные и сверлильно-фрезерно-расточные станки);
- многоконтурные системы, обеспечивающие одновременное или последовательное управление функционированием ряда узлов и механизмов станка.

По способу подготовки и ввода управляющей программы различают, так называемые, оперативные системы ЧПУ (в этом случае управляющую программу готовят и редактируют непосредственно на станке, в процессе обработки первой детали из партии или имитации ее обработки) и системы, для которых управляющая программа готовится независимо от места обработки детали. Причем, независимая подготовка управляющей программы может выполняться либо с помощью средств вычислительной техники, входящих в состав системы ЧПУ данного станка, либо вне ее (вручную или с помощью системы автоматизации программирования).

Программоноситель может содержать как геометрическую, так и технологическую информацию. Технологическая информация обеспечивает определенный цикл работы станка, а геометрическая

– характеризует форму, размеры элементов обрабатываемой заготовки и инструмента и их взаимное положение в пространстве.

Станки с программным управлением (ПУ) по виду управления подразделяют на станки с системами циклового программного управления (ЦПУ) и станки с системами числового программного управления (ЧПУ). Системы ЦПУ более просты, так как в них программируется только цикл работы станка, а величины рабочих перемещений, т.е. геометрическая информация, задаются упрощенно, например с помощью упоров. В станках с ЧПУ управление осуществляется от програмноносителя, на который в числовом виде занесена и геометрическая, и технологическая информация.

ЧПУ обеспечивает управление движениями рабочих органов станка и скоростью их перемещения при формообразовании, а также последовательностью цикла обработки, режимами резания, различными вспомогательными функциями.

## 6.2. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ СТАНКА

Система координат станка (СКС), в которой определяется положение его рабочих органов и других систем координат, является основной. СКС включает в себя все физически существующие оси станка. По стандартам все прямолинейные перемещения рассматривают в правосторонней прямоугольной системе координат X, Y, Z. Во всех станках положение оси Z совпадает с осью вращения инструмента; если при обработке вращается заготовка, то с осью вращения заготовки. На станках всех типов движение сверла из детали определяет положительное направление оси Z в СКС. Для станков, в которых сверление невозможно, ось Z перпендикулярна технологической базе.

Ось X всегда параллельна технологической базе (обычно горизонтальна) и перпендикулярна оси Z: если ось Z расположена горизонтально, то положительным направлением оси X является направление вправо, если встать лицом к левому торцу станка; если ось Z расположена вертикально, то положительным для оси X считается направление вправо, если встать лицом к передней плоскости станка [9, 13, 24-26].

Ось Y перпендикулярна плоскости, образуемой осями X и Z; в качестве положительного выбирается такое направление, чтобы получившаяся система координат образовывала правую декартовую систему. Для удобства можно пользоваться правилом правой руки (рис. 6.1). Примеры расположения осей системы координат для различных станков представлено на рис.6.2.

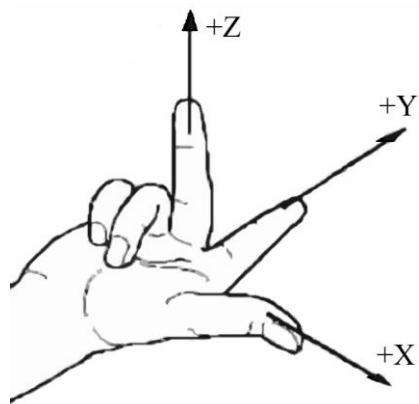


Рис. 6.1. Схема определения правила правой руки при определении СКС

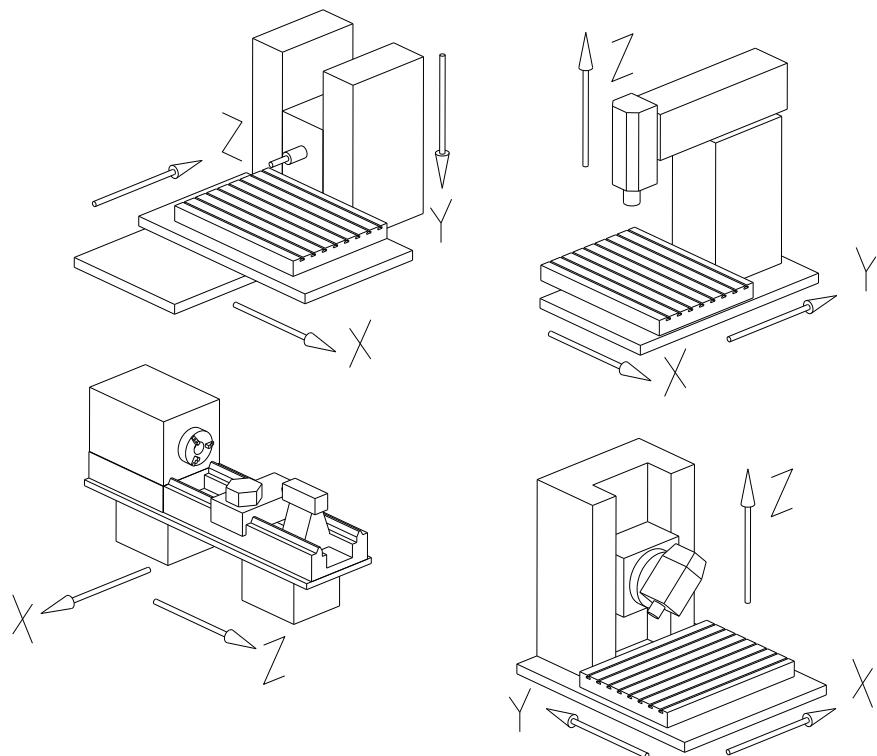


Рис. 6.2. Примеры систем координат различных станков

Если станок имеет несколько столов, суппортов и т. п., то для задания их перемещений используют другие системы координат,

оси которых для второго рабочего органа обозначают U, V, W, для третьего – P, Q, R. Круговые перемещения рабочих органов станка с инструментом по отношению к каждой из координатных осей X, Y, Z обозначают A, B, C соответственно. Положительным направлением вращения вокруг осей является вращение по часовой стрелке, если смотреть от начала в сторону конца оси; вращение в противоположном (отрицательном) направлении обозначают A', B', C'. При определении положительного направления удобно пользоваться правилом правой руки: если отогнутым большим пальцем правой руки указать положительное направление оси, то согнутые остальные пальцы укажут положительное направление вращения вокруг этой оси.

В зависимости от конструкции станка положение инструмента и заготовки при обработке может быть получено перемещением инструмента относительно неподвижной заготовки, заготовки относительно неподвижного инструмента (в этом случае оси в СКС обозначают X', Y', Z' и соответственно меняют положительные направления на противоположные) или взаимным их перемещением. Учесть эти особенности весьма сложно. Принят, так называемый, метод относительного программирования: при обработке заготовок деталей условно считают, что всегда движется инструмент, а заготовка остается неподвижной. Такой метод очень удобен на практике, так как для програмиста безразлично, как обеспечивается, например, положительное движение инструмента по оси X – его собственным перемещением или движением стола в противоположном направлении. Положение нулевой точки станка (нуль станка) – точки, принятой за начало СКС (ГОСТ 20523-80), т. е. начало отсчета для линейных и для круговых движений, стандартами не установлено. Физически ноль станка задают концевые выключатели, обычно устанавливаемые на каждой из осей и служащие для определения положения рабочих органов станка при инициализации системы.

Кроме нулевой точки, в ГОСТ 20523-80 даны определения следующих точек. Исходная точка станка определяется относительно его нулевой точки и используется для начала работы по управляющей программе. Фиксированная точка станка определяется относительно нулевой точки станка и используется для нахождения положения рабочего органа станка (как правило фиксированная точка совпадает с нулем станка).

Если ограничиться только одной СКС при написании программ, то возникают проблемы при ее эксплуатации: смена приспособления станка в процессе производства приводит к изменению пространственного положения детали относительно нуля станка (вследствие неизбежного изменения линейных размеров приспособления и различного физического положения нуля станка различных производителей), что вызывает необходимость в пересчете всей геометрической информации, содержащейся в программе. Поэтому для решения вышеуказанных проблем вводится система координат детали (СКД).

СКД служит для задания координат опорных точек обрабатываемых поверхностей (контура, профиля и т. д.). Опорными называют точки начала, конца, пересечения или касания геометрических элементов, из которых образованы контур детали и траектория движения инструмента на переходах обработки. Применяют правую прямоугольную, цилиндрическую и сферические системы координат. Вместо трёхобъёмных систем координат в частных случаях используют прямоугольные и полярные двухкоординатные системы. Точку на детали, относительно которой заданы ее размеры, называют нулевой точкой детали (нуль детали). Нуль детали выбирается программистом произвольно – может быть любая точка как на детали, так и вне ее. Однако, при выборе нуля детали следует учитывать следующие моменты:

- нуль должен по возможности совпадать с конструкторской базой (упрощается програмирование, т. к. исключается необходимость в пересчете размерных цепей);

- нуль должен находиться на физической поверхности детали (не заготовки), которой можно было бы удобно коснуться инструментом (сокращается время на наладку станка – упрощается привязка СКД к СКС).

С учетом данных требований, обычно, на токарных станках в качестве нуля детали выбирают точку пересечения правого торца с осью вращения.

При разработке управляющей программы программист использует систему координат детали. При выборе СКД принимается направление осей таким же, как направление осей в СКС; координатные плоскости СКД целесообразно совмещать или располагать параллельно базам детали; координатные оси следует

совмещать с возможно большим числом размерных линий или осей симметрии.

Аналогичные проблемы в процессе эксплуатации оборудования возникают при смене инструмента вследствие износа. Поэтому, на станках с ЧПУ наряду с СКС и СКД существует система координат инструмента (СКИ).

Система координат инструмента предназначена для задания положения его режущего лезвия. Оси СКИ параллельны и направлены в ту же сторону, что и оси СКС. Инструмент рассматривают в сборе с державкой и вспомогательным инструментом. Указывают положение формообразующих элементов режущих кромок. У вращающегося инструмента указывают координаты точки пересечения с осью вращения. Связь систем координат при обработке детали на сверлильно-фрезерно-расточном станке представлена на рис. 6.3.

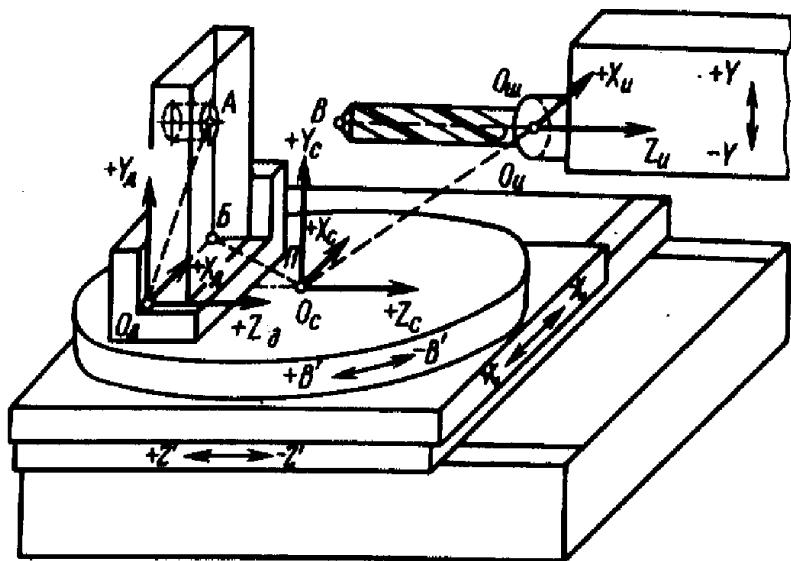


Рис. 6.3. Схема связи систем координат детали и инструмента сверлильно-фрезерно-расточного станка с ЧПУ

### 6.3. МЕТОДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Существуют три основных способа разработки управляющих программ: ручное программирование, программирование на стойке ЧПУ и программирование при помощи САМ-систем.

*Ручное программирование* является весьма утомительным занятием. Однако все программисты-технологи обязаны иметь хорошее понимание техники ручного программирования независимо от того, действительно ли они ее используют. Если на предприятии используется несколько станков с ЧПУ, а изготавливаемые детали предельно просты, то грамотный технолог-программист, хорошей техникой ручного программирования, будет способен превзойти по производительности труда программиста-технолога, использующего САМ-систему. Ручное программирование для ЧПУ также экономически эффективно при изготовлении изделий ограниченной номенклатуры. Наконец, даже в случае применения САМ-системы, нередко возникает потребность коррекции кадров УП, вследствие обнаружения ошибок на этапе верификации. Также, общепринятой является коррекция кадров УП после ряда первых пробных прогонов на станке с ЧПУ. Если для выполнения этих, часто элементарных корректировок, программист должен опять использовать САМ-систему, то это неоправданно удлинит процесс подготовки производства.

*Программирование на стойке системы ЧПУ.* Этот метод программирования стал весьма популярен в последние годы. Программы создаются и вводятся непосредственно на стойке системы ЧПУ, используя клавиатуру, дисплей, а также систему графических пиктограмм и меню. Программист может немедленно верифицировать кадры УП путем графической имитации обработки на экране стойки. Системы диалогового-графического проектирования существенно различаются между собой. В большинстве случаев, любая из них является одноцелевой системой, предназначеннной для автоматизации программирования определенного типа обработки на определенном оборудовании. Мало того, некоторые модели рассчитаны только на ручной ввод управляющей программы и, тем самым, не могут обеспечить технологию удаленного программирования при помощи САМ-системы. Однако, более современные модели работают как в диалоговом режиме, так и имеют устройства для ввода G-кодов, сгенерированных другими САМ-системами.

В общем случае, существуют предприятия, использующие ограниченное число наемных рабочих и выпускающие широкий ассортимент деталей. В таких фирмах один работник может

выполнять разнообразные задачи, связанные с обслуживанием станков с ЧПУ. Например, на многих малых предприятиях оператор станка с ЧПУ занимается установкой заготовки; ее креплением; вводом УП; проверкой и оптимизацией УП, наконец, он следит за обработкой. В этом случае, метод программирования «у стойки с ЧПУ» весьма оправдан и более эффективен, чем оплата услуг «удаленного» программиста-технолога.

Человек, выполняющий диалоговое проектирование УП, должен иметь более высокую оплату труда и мотивацию, ведь этот сотрудник вносит существенный вклад в успех предприятия. Имея такие стимулы, сотрудник может превзойти «обычного» программиста-технолога, неспешно разрабатывающего УП вдалеке от цеха.

*Программирование при помощи САМ-систем.* САМ-системы позволяют поднять программирование для станков с ЧПУ на более высокий уровень, по сравнению с рутинным ручным программированием. Обобщая, можно утверждать, что САМ-системы облегчают труд технолога-программиста в трех главных направлениях. САМ-системы избавляют технолога-программиста от необходимости проводить математические вычисления вручную; позволяют создавать на одном базовом языке управляющие программы для различного оборудования с ЧПУ; наконец, они обеспечивают технолога типовыми функциями, автоматизирующими ту или иную обработку.

Для использования САМ-системы технолог-программист использует персональный компьютер или рабочую станцию. Компьютерная программа автоматически генерирует управляющую программу (G-код). Затем, управляющая программа передается, тем или иным способом, в память стойки станка с ЧПУ. Оптимальная область применения таких систем – крупные предприятия, а также предприятия, выпускающие значительную номенклатуру постоянно изменяющихся деталей.

## 6.4. КОДИРОВАНИЕ И ЗАПИСЬ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ

Порядок составления УП начинается с изучения языка программирования, который регламентируется ГОСТ 20999-83, полностью соответствует СТ СЭВ 3585-82 и комплексу стандартов, носящих общее название ISO 7bit. Программа, написанная на данном языке, будет «понятна» большинству систем ЧПУ независимо от производителя.

### 6.4.1. Структура управляющей программы

Управляющая программа представляет собой последовательность кадров.

Каждая управляющая программа должна начинаться символом «Начало программы» (%), после которого должен стоять символ «Конец кадра» (ПС), а затем кадр с соответствующим номером. Для современных систем ЧПУ это требование необязательно.

Каждый кадр представляет собой последовательность слов (адресов). Первым словом любого кадра является номер кадра (N).

Каждое слово в кадре управляющей программы должно состоять из: символа адреса (латинская прописная буква по табл. 6.1, 6.2); математического знака «Плюс» или «Минус» (при необходимости); последовательности цифр.

Слова в управляющей программе должны быть записаны одним из двух способов:

- без использования десятичного знака (подразумеваемое положение десятичной запятой);
- с использованием десятичного знака (явное положение десятичной запятой).

**Таблица 6.1**  
Значения символов адресов

Символ	Значение
A	Угол поворота вокруг оси X
B	Угол поворота вокруг оси Y

## Окончание табл. 6.1

Символ	Значение
C	Угол поворота вокруг оси Z
D	Вторая функция инструмента
E	Вторая функция подачи
F	Первая функция подачи
G	Подготовительная функция
H	Не определен
I	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси X
J	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси Y
K	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси Z
L	Не определен
M	Вспомогательная функция
N	Помер кадра
O	Не определен
P	Третичная длина перемещения, параллельного оси X
Q	Третичная длина перемещения, параллельного оси Y
R	Перемещение на быстром ходу по оси Z или третичная длина перемещения, параллельного оси Z
S	Функция главного движения
T	Первая функция инструмента
U	Вторичная длина перемещения, параллельного оси X
V	Вторичная длина перемещения, параллельного оси Y
W	Вторичная длина перемещения, параллельного оси Z
X	Первичная длина перемещения, параллельного оси X
Y	Первичная длина перемещения, параллельного оси Y
Z	Первичная длина перемещения, параллельного оси Z

Подразумеваемое положение десятичной запятой определено в характеристиках формата конкретного УЧПУ.

При записи слов с использованием десятичного знака могут быть опущены незначащие нули, стоящие до и (или) после знака.

Например: X.03 означает размер 0,03 мм по оси X; X 1030. означает размер 1030,0 мм по оси X.

При записи слов с подразумеваемой десятичной запятой с целью сокращения количества информации рекомендуется опускать нули, стоящие перед первой значащей цифрой (ведущие нули).

**Таблица 6.2**

Значения управляемых символов и знаков

<b>Символ</b>	<b>Наиме- нование</b>	<b>Значение</b>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
ГТ	Табуляция	Символ, управляющий перемещением действующей позиции печати в следующую, заранее определенную знаковую позицию на той же строке. Предназначен для управления устройствами печати при распечатке управляющей программы. УЧПУ не воспринимается
ПС	Конец кадра	Символ, обозначающий конец кадра управляющей программы
%	Начало программы	Знак, обозначающий начало управляющей программы (используется также для остановки носителя данных при обратной перемотке)
(	скобка левая	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация не должна отрабатываться на станке
)	скобка правая	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация должна отрабатываться на станке
+	Плюс	Математический знак
-	Минус	Математический знак
.	Точка	Десятичный знак
/	Пропуск кадра	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация до первого символа «Конец кадра» может отрабатываться или не отрабатываться на станке {в зависимости от положения органа управления на пульте управления УЧПУ). Когда этот знак стоит перед символами «Номер кадра» и «Главный кадр» он действует на целый кадр управляющей программы}
:	Главный кадр	Знак, обозначающий главный кадр управляющей программы

Допускается опускать последние нули (ведущие нули в этом случае опускать нельзя). При опускании как ведущих, так и последних нулей, положение подразумеваемой десятичной запятой остается неизменным согласно характеристикам формата конкретного УЧПУ.

Управляющую программу рекомендуется составлять таким образом, чтобы в кадре записывалась только та геометрическая, технологическая и вспомогательная информация, которая меняется по отношению к предыдущему кадру.

Любая группа символов, не подлежащая отработке на станке, должна быть заключена в круглые скобки. Внутри скобок не должны применяться символы «Начало программы» и «Главный кадр».

Например, группа символов, заключенная в скобки, может быть выведена на дисплей и служить в качестве указаний оператору:

N020 T1 M6 (проверить в позиции №1 сверло Ø20 мм)

Управляющая программа должна заканчиваться символом «Конец программы» (M02) или «Конец информации» (M30). Информация, помещенная после символа «Конец информации», не воспринимается УЧПУ.

#### **6.4.2. Структура кадров**

Информационные слова в кадре рекомендуется записывать в следующей последовательности: слово (или слова) «Подготовительная функция»; слова «Размерные перемещения», которые рекомендуется записывать в последовательности символов X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R, A, B, C; слова «Параметр интерполяции или шаг резьбы» I, J, K; слово (или слова) «Функция подачи», которое относится только к определенной оси и должно следовать непосредственно за словами «Размерное перемещение» по этой оси. Слово «Функция подачи», относящиеся к двум и более осям, должны следовать за последними словами «Размерное перемещение», к которым они относятся; слова «Функция главного движения»; слово (или слова) «Функция инструмента»; слово (или слова) «Вспомогательная функция».

В пределах одного кадра управляющей программы не должны повторяться слова «Размерные перемещения» и «Параметр интерполяции или шаг резьбы». В пределах одного кадра управляющей программы не должны использоваться слова «Подготовительная функция», входящие в одну группу.

## 6.4.3. Структура слов

### 6.4.3.1. Размерные слова

Для указания линейных перемещений используются слова X, Y, Z. Под словом X указывается перемещение рабочего органа по оси X и, аналогично, для остальных слов. Если на станке имеется несколько суппортов, то для указания перемещений второго суппорта по осям используются адреса U, V, W соответственно, для третьего – P, Q, R.

Все линейные перемещения выражены в миллиметрах и их десятичных долях.

Для указания угловых перемещений используются адреса A, B, C. Адрес A задает величину поворота вокруг оси X и т. д.

Все угловые размеры должны быть выражены в радианах (или в градусах). Допускается угловые размеры выражать в десятичных долях оборота.

Если УЧПУ допускает задание размеров в абсолютных значениях, положительных или отрицательных, в зависимости от начала системы координат, то математический знак («Плюс» или «Минус») является составной частью слова «Размерное перемещение» и должен предшествовать первой цифре каждого размера.

Если УЧПУ допускает задание размеров в приращениях, то математический знак («Плюс» или «Минус») должен предшествовать первой цифре каждого размера, указывая направление перемещения.

При задании размеров как в абсолютных значениях, так и в приращениях, математический знак «Плюс» в словах «Размерные перемещения» допускается опускать.

### 6.4.3.2. Функция подачи и главного движения

Скорость подачи указывается словом F, скорость главного движения указывается адресом S и должны кодироваться числом, количество разрядов которого должно быть указано в формате конкретного УЧПУ.

Выбор типа подачи должен осуществляться одной из следующих подготовительных функций: «Подача в функции

обратной времени» (G93); «Подача в минуту» (G94); «Подача на оборот» (G95).

Выбор вида функционирования главного движения (там, где это необходимо) должен осуществляться одной из следующих подготовительных функций: «Постоянная скорость резания» (G96); «Обороты в минуту» (G97).

Существует два основных метода указания величины подачи и скорости: путем указания кода (F22 – подача 0,5 мм/об) и в явном виде (F0,5).

Рекомендуется, чтобы основным методом кодирования был метод прямого обозначения, при котором для подачи должны использоваться следующие единицы измерения: миллиметры в минуту – подача не зависит от скорости главного движения; миллиметр на оборот – подача зависит от скорости главного движения; радиан в секунду (градусы в минуту) – подача относится только к круговому перемещению; для скорости главного движения число обозначает скорость шпинделья в радианах в секунду (оборотах в минуту).

Допускается подачу и скорость задавать кодовым числом, причем большей подаче (скорости) должно соответствовать большее кодовое число. В паспорте станка, в таком случае, присутствует таблица, в которой указаны коды подач (скоростей) и соответствующие им величины подач (скорости).

#### *6.4.3.3. Функция инструмента*

Слово «Функция инструмента» (T) используется для выбора инструмента. Допускается использовать эти слова для коррекции (или компенсации) инструмента. В этом случае, слова «Функция инструмента» будут состоять из двух групп цифр (T 01 01). Первая группа цифр используется для выбора инструмента, вторая – для коррекции инструмента. Если для записи коррекции (компенсации) инструмента используется другой адрес, рекомендуется использовать символ D или H.

Количество цифр, следующих за адресами T, D и H должно быть указано в формате конкретного УЧПУ.

#### *6.4.3.4. Кодирование подготовительных функций*

Подготовительные функции указывают системе ЧПУ особенности выполняемых в данном и последующих кадрах перемещений.

Перечень основных подготовительных функций представлен в табл. 6.3.

Особенности использования подготовительных функций в учебном пособии рассмотрены при изучении конкретных систем ЧПУ.

#### *6.4.3.5. Кодирование вспомогательных функций*

Наряду с подготовительными функциями существуют и вспомогательные функции служащие для управления электроавтоматикой станка. Перечень и назначение вспомогательных функций представлены в табл. 6.4, 6.5.

Таблица 6.3

## Кодирование подготовительных функций

Подготовительная функция	Функция действует		Наименование/Значение
	до следующей функции, обозначено		
G00	A		<b>Быстрое позиционирование.</b> Перемещение в запрограммированную точку с максимальной скоростью (например, с наибольшей скоростью подачи). Предварительно запрограммированная скорость перемещения игнорируется, но не отменяется. Перемещения по осям координат могут быть нескоординированы
G01	A		<b>Линейная интерполяция.</b> Вид управления, при котором обеспечивается постоянное отношение между скоростями по осям координат, пропорциональное отношению между расстояниями, на которые должен переместиться исполнительный орган станка по двум или более осям координат одновременно. При прямоугольной системе координат перемещение происходит по прямой линии
G02	A		<b>Круговая интерполяция, движение по часовой стрелке.</b> Вид контурного управления для получения дуги окружности, при котором векторные скорости по осям координат, используемые для образования дуги, изменяются устройством управления
G03	A		<b>Круговая интерполяция, движение против часовой стрелки</b>
G04		X	<b>Пауза.</b> Указание о временной задержке, конкретное значение которой задается в управляющей программе или другим способом. Применяется для выполнения тех или иных операций, протекающих известное время и не требующих ответа о выполнении

Продолжение табл. 6.3

G05			<b>Не определена</b>
G06	A		<b>Параболическая интерполяция.</b> Вид контурного управления для получения дуги параболы, при котором векторные скорости по осям координат, используемые для образования этой дуги, изменяются устройством управления
G07			<b>Не определена</b>
G08		X	<b>Разгон.</b> Автоматическое увеличение скорости перемещения в начале движения до запрограммированного значения
G09		X	<b>Торможение.</b> Автоматическое уменьшение скорости перемещения относительно запрограммированной при приближении к запрограммированной точке
G10 - G16			<b>Не определены</b>
G17	C		<b>Выбор плоскости XY</b> Задание плоскости таких функций, как круговая интерполяция, коррекция на фрезу и других
G18	C		<b>Выбор плоскости ZX</b>
G19	C		<b>Выбор плоскости YZ</b>
G20 –G32			<b>Не определены</b>
G33	A		<b>Нарезание резьбы</b>
G34	A		<b>Нарезание резьбы с увеличивающимся шагом</b>
G35	A		<b>Нарезание резьбы с уменьшающимся шагом</b>
G36 –G39			<b>Постоянно не определены</b>
G40	B		<b>Отмена коррекции инструмента</b>
G41	B		<b>Коррекция на фрезу – левая.</b> Коррекция на фрезу при контурном управлении. Используется, когда фреза находится слева от обрабатываемой поверхности, если смотреть от фрезы в направлении ее движения относительно заготовки

Продолжение табл. 6.3

G42	B	<b>Коррекция на фрезу – равая.</b> Коррекция на фрезу при контурном управлении. Используется, когда фреза находится справа от обрабатываемой поверхности, если смотреть от фрезы в направлении ее движения относительно заготовки
G43	B	<b>Коррекция на положение инструмента – положительная.</b> Указание, что значение коррекции на положение инструмента необходимо сложить с координатой, заданной в соответствующем кадре или кадрах
G44	B	<b>Коррекция на положение инструмента – отрицательная.</b> Указание, что значение коррекции на положение инструмента необходимо вычесть из координаты, заданной в соответствующем кадре или кадрах
G45 – G52		<b>Не определены</b>
G53	F	<b>Отмена заданного смещения.</b> Отмена любой из функций G 54– G 59.
G54	F	<b>Заданное смещение 1.</b> Смещение нулевой точки детали относительно исходной точки станка
G55	F	<b>Заданное смещение 2</b>
G56	F	<b>Заданное смещение 3</b>
G57	F	<b>Заданное смещение 4</b>
G58	F	<b>Заданное смещение 5</b>
G59	F	<b>Заданное смещение 6</b>
G60 –G62		<b>Не определены</b>
G63	X	<b>Нарезание резьбы метчиком</b>
G64 –G79		<b>Не определены</b>
G80	E	<b>Отмена постоянного цикла.</b> Функция, которая отменяет любой постоянный цикл
G81-G89	E	<b>Постоянный цикл 1-9</b>

Окончание табл. 6.3

G90	M		<b>Абсолютный размер.</b> Отсчет перемещения производится относительно выбранной нулевой точки
G91	M		<b>Размер в приращениях.</b> Отсчет перемещения производится относительно предыдущей запрограммированной точки
G92		X	<b>Установка абсолютных накопителей положения.</b> Изменение состояния абсолютных накопителей положения. При этом движения исполнительных органов не происходит
G93	K		<b>Скорость подачи в функции, обратной времени.</b> Указание, что число, следующее за адресом F, равно обратному значению времени в минутах, необходимому для отработки кадра
G94	K		<b>Подача в минуту</b>
G95	K		<b>Подача на оборот</b>
G96	L		<b>Постоянная скорость резания.</b> Указание, что число, следующее за адресом S, равно скорости резания в метрах в минуту. При этом скорость шпинделя регулируется автоматически с целью поддержания запрограммированной скорости резания
G97	L		<b>Обороты в минуту.</b> Указание, что число, следующее за адресом S, равно скорости шпинделя в оборотах в минуту
G98 - G99			<b>Не определена</b>

**Таблица 6.4****Значение вспомогательных функций**

	<b>Наименование</b>	<b>Значение</b>
M00	Программируемый останов	Останов без потери информации по окончании отработки соответствующего кадра. После выполнения команд происходит останов шпинделья, охлаждения, подачи. Работа по программе возобновляется нажатием кнопки
M01	Останов с подтверждением	Функция аналогична M00, но выполняется только при предварительном подтверждении с пульта управления
M02	Конец программы	Указывает на завершение отработки управляющей программы и приводит к останову шпинделья, подачи и выключению охлаждения после выполнения всех команд в кадре. Используется для приведения в исходное состояние УЧПУ и (или) исходное положение исполнительных органов станка
M03	Вращение шпинделья по часовой стрелке	Включает шпиндель в направлении, при котором винт с правой нарезкой, закрепленный в шпинделе, входит в заготовку
M04	Вращение шпинделья против часовой стрелки	Включает шпиндель в направлении, при котором винт с правой нарезкой, закрепленный в шпинделе, выходит из заготовки
M05	Останов шпинделья	Останов шпинделья наиболее эффективным способом. Выключение охлаждения
M06	Смена инструмента	Команда на смену инструмента вручную или автоматически (без поиска инструмента). Может автоматически отключать шпиндель и охлаждение
M07	Включение охлаждения № 2	Включение охлаждения № 2 (например, масляным туманом)
M08	Включение охлаждения № 1	Включение охлаждения № 1 (например, жидкостью)
M09	Отключение охлаждения	Отменяет M07, M08
M10	Зажим	Относится к работе с зажимным приспособлением подвижных органов станка
M11	Разжим	То же
M19	Останов шпинделья в заданной позиции	Вызывает останов шпинделья при достижении им определенного углового положения

## Окончание табл. 6. 4

M30	Конец информации	Приводит к останову шпинделя, подачи и выключению охлаждения после выполнения всех команд в данном кадре. Используется для установки в исходное состояние УЧПУ и (или) исходное положение исполнительных органов станка. Установка в исходное положение УЧПУ включает в себя возврат к символу «Начало программы»
M49	Отмена ручной коррекции	Функция, указывающая на отмену ручной коррекции скорости подачи и (или) скорости главного движения и о возвращении этих параметров к запрограммированным значениям
M59	Постоянная скорость шпинделя	Поддержание постоянным текущего значения скорости шпинделя независимо от перемещения исполнительных органов станка и задействованной функции G 96

Таблица 6.5

## Действие вспомогательных функций

Вспомогательная функция	Функция начинает действовать		Функция действует	
	до начала перемещения, запрограммированного в данном кадре	после выполнения перемещения в данном кадре	до отмены (или замены) соответствующей вспомогательной функции	только в том кадре, в котором она записана
M00		X		X
M01		X		X
M02		X		X
M03	X		X	
M04	X		X	
M05		X	X	
M06				X
M07	X		X	
M08	X		X	
M09		X	X	
M10	X		X	
M11	X		X	
M12-M18				
M19		X	X	

M20- M29				
M30	x			X
M31- M47				
M48	X		X	
M49	X		X	
От M50 до M57				
M58	X		X	
M59	X		X	
M60- M99				

## 6.5. ФОРМАТ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ

Схема построения кадров обычно определена. Она зависит от конструктивных особенностей станка, модели УЧПУ, методики программирования и т. д. Поэтому каждый конкретный тип УЧПУ характеризуется, так называемым, форматом, т. е. принятым (рекомендуемым) порядком расположения слов в кадре и структурой каждого слова в отдельности.

Явная десятичная запятая обозначается символом DS; символ «табуляция», если он используется, обозначается точкой (.).

Если УЧПУ требует указания символа «конец кадра», то он обозначается звездочкой (\*) в конце формата.

Если абсолютные размеры всегда положительные, то между адресом и следующим за ним числом не ставят никакого знака, а если они или положительные, или отрицательные, то между адресом и следующим за ним числом ставят знак «плюс» (+) или «плюс – минус» (±).

За адресом безразмерных слов следует записывать одну цифру, показывающую количество цифр в слове. Если можно опустить нули, стоящие перед первой значащей цифрой, то за адресом безразмерных слов должны следовать две цифры, первая из которых нуль.

Пример записи формата:

% : / DSN03G2X + 053 Y + 053Z + 042F031 S04T05M2\*

Данный формат указывает, что УЧПУ, для которого выполняется запись УП, воспринимает символы начала программы (%), главного кадра (:), пропуска кадра (/) и явную десятичную запятую (DS). Ведущие нули при записи кадров УП во всех словах (кроме слов с адресами G и M) разрешается опускать.

В приведенном формате N03 – трехзначный номер кадра. Это означает, что всего в программе можно привести кадры с номерами от N1 до N999. Если бы в формате было указано N3 (без нуля перед цифрой 3), то во всех кадрах, где необходимо, обязательно было бы написание нулей как значащих цифр: например N001, N002, ..., N099, ...

Элемент записи X + 053 – перемещение по оси X со знаком «плюс» или «минус». Числовое значение размерного перемещения указывают после знака, при этом знак «плюс» можно опускать. На целую часть значащего числа отводится пять разрядов, на дробную (после запятой) – три разряда. В рассматриваемом формате обязательно указание точки (запятой) для разделения целой и дробной частей (об этом говорит символ DS). Кроме того, могут не указываться первые нули в числе до запятой и последние в числе после запятой.

Слова в формате записываются также в определенной последовательности.

За адресом каждого слова «размерное перемещение» следуют две цифры, первая из которых показывает количество разрядов перед подразумеваемой десятичной запятой, отделяющей целую часть числа от дробной, вторая – количество разрядов после запятой. Если можно опустить нули, стоящие перед первой и после последней значащих цифр в слове «размерное перемещение», то за адресом этого слова должны следовать три цифры. Если опускаются нули, стоящие перед первой значащей цифрой, то нулем должна быть первая цифра. Если опускаются нули, стоящие после значащей цифры, то нулём должна быть последняя цифра.

Например, перемещение по оси X на величину 01280,500 мм в положительном направлении должно быть записано X1280.5 (с указанием точки без знака «плюс» и без крайних нулей). Если бы в формате кадра было указано, например, X±33 и в начале формата не было символа DS, то это означало бы, что после адреса X необходимо обязательно писать знак «+» или «-» (т. е. «плюс» опускать нельзя), а

значащие цифры следует указывать полностью (три) как до условной запятой, так и после нее. Так, если в кадре УП записано X +053280, то это соответствует размерной величине 53,28 мм.

Элемент Y + 053 – перемещение по оси Y (здесь справедливо все сказанное о перемещении по оси X).

Элемент Z + 042 – перемещение по оси Z со знаком «плюс» или «минус». При записи знак «плюс» можно опускать, можно опускать также передние и последние (в дробном разряде) нули. На размерную информацию отводится четыре десятичных разряда до запятой и два после запятой, т. е. максимальное число, которое может быть записано по оси Z, составляет 9999,99 мм (четыре значащие цифры до запятой и две после запятой). Например, перемещение в положительном направлении по оси Z на величину 2000 мм должно быть записано в виде Z2000., на 200 мм – в виде Z200., на 2 мм – в виде Z2., на 0,2 мм – в виде Z.2, на 0,02 – в виде Z.02. Перемещение в отрицательном направлении на величину 50,00мм запишется в виде Z – 50., на 5,00 мм – в виде Z – 5., на 0,50 мм – в виде Z – .5, на 0,05 мм – в виде Z – 0.05.

Элемент F031 – функция подачи, при этом подача указывается методом прямого обозначения. Значащие цифры – три слева от десятичной запятой и одна справа; нули после запятой и впереди можно опускать. Если бы в формате было указано, например, F2, то это предполагало бы указание подачи двумя кодовыми числами. Звездочка, завершающая запись формата, означает конец кадра.

## 6.6. ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ УП

Прежде чем приступить непосредственно к написанию УП, необходимо проделать значительную предварительную работу, позволяющую в конечном итоге получить в кратчайшие сроки эффективную УП [27].

*На первом этапе* устанавливаются параметры заготовки, которую предстоит обработать: качественное состояние поверхностей (предварительно обработанные, литейная корка и т. п.), свойства материала заготовки (вид материала, его твердость), геометрические характеристики (величина размеров, допуска); затем устанавливаются параметры детали, требуемые после обработки (геометрические

размеры с допусками, шероховатость поверхности, требования к форме и пространственному положению).

После получения полного представления о том, что и из чего предстоит сделать, приступают ко *второму этапу*: устанавливают, как и чем это будет достигаться. На основании рекомендаций и положений, изложенных ранее в настоящем пособии, устанавливают технологию обработки: определяют состав переходов предстоящей обработки, устанавливают порядок выполнения переходов, выясняют тип применяемых режущего и вспомогательного инструментов, их геометрические и механические характеристики; определяют режимы резания (подачу, скорость резания).

При выполнении данного этапа следует учесть ряд рекомендаций: инструмент следует подбирать такой, который обеспечивал бы обработку максимального числа поверхностей; режимы резания желательно определять не только для каждого инструмента, но и для каждой обрабатываемой элементарной поверхности. Учет этих требований позволит максимально использовать возможности станка и инструментов, что окупит затраты времени на проектирование.

*На третьем этапе* определяют траектории перемещений каждого инструмента – строят схемы движения инструментов, определяют координаты точек (устанавливают положение нуля детали, исходной точки, опорных точек) и порядок обхода их инструментом (рис. 6.4).

*На четвертом заключительном этапе* выполняют кодирование и запись УП, верификацию и отладку.

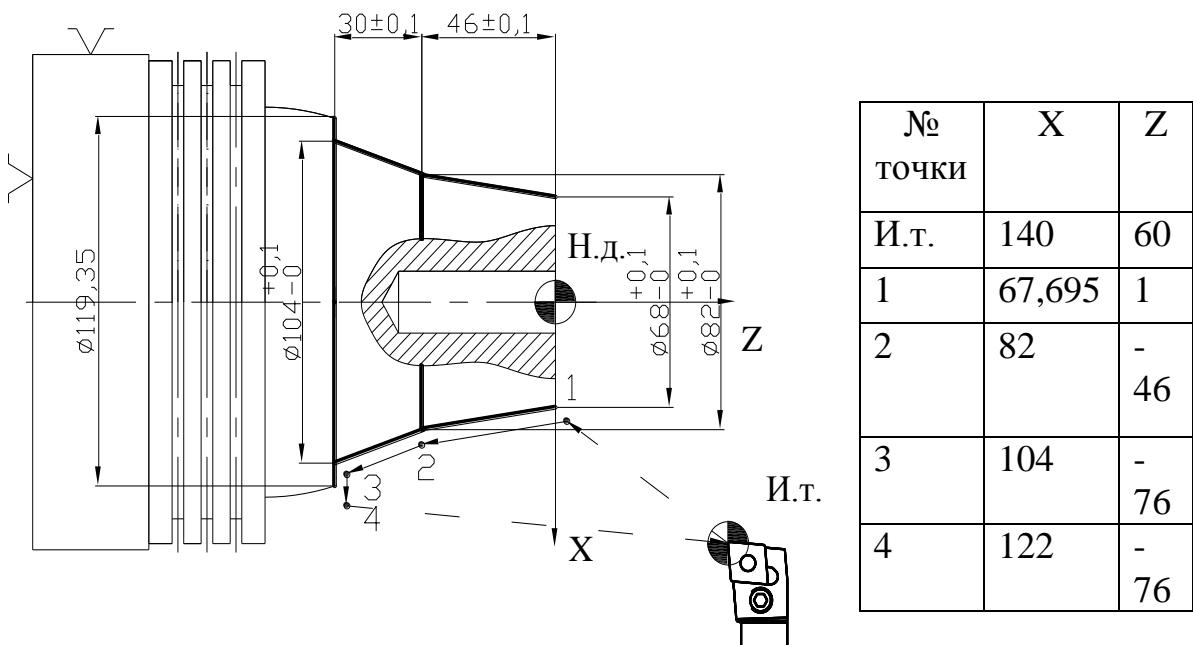


Рис. 6.4. Траектории перемещения инструмента

## 6.7. РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ДВИЖЕНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Для проектирования схемы движения режущих инструментов необходимо построить траектории рабочих и вспомогательных перемещений инструментов при обработке основных и дополнительных поверхностей.

Разработка схемы движения начинается с определения положения нуля детали и исходной точки. За нуль детали можно принять любую точку, но обычно принимают точку, расположенную на правом торце детали с координатой X, равной 0 (для токарной обработки) (рис. 6.4). Из нуля детали строятся оси системы координат и наносится их обозначение (рис. 6.4).

После выбора нуля детали выбирают положение исходной точки – точки, в которой находится инструмент перед началом обработки. Она должна быть выбрана таким образом, чтобы суппорт и закрепленный инструмент не мешали смене заготовок, но при этом, она должна быть как можно ближе к заготовке с целью сокращения затрат времени на холостые ходы. Положение наносится на эскизе с обозначением ее координат.

На схеме движения инструментов изображаются траектории движения режущих кромок инструментов, участвующих в обработке заготовки детали. Сплошными линиями указываются рабочие движения, а пунктирными - холостые. Последовательно расположенные опорные точки, в которых происходит изменение направления движения инструмента, обозначают арабскими цифрами. Цифра соответствует номеру точки. Направление движения указывается стрелкой (рис. 6.4).

Схема движения инструментов предназначена для учета всех, без исключения, перемещений инструментов как по величине, так и по направлению. Если в обработке заготовки детали участвуют до трех инструментов при небольшом количестве опорных точек, то вычерчивается общая схема для всех инструментов. При большом числе инструментов и значительном количестве опорных точек следует вычерчивать схему движения для каждого инструмента отдельно. Проектирование схем движения инструментов должно завершиться вычерчиванием обрабатываемого контура детали и соответствующей ему траектории инструмента с нанесением осей координат детали и указанием координат ее базовых поверхностей, т. е. расстояние от нулевой точки детали до исходной точки программы, а также построением таблицы координат опорных точек (рис. 1.4).

На этом этапе устанавливают необходимые вспомогательные команды на смену режущего инструмента, изменение числа оборотов шпинделя и подач, включение подачи смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ) в зону обработки и другие технологические команды.

Составление программы осуществляется по инструкции по программированию конкретного станка.

## ГЛАВА 7. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ, ОСНАЩЕННЫХ УЧПУ NC-201

Система ЧПУ NC-201 (NC-110, NC-200, NC-210 и т.д.) является российской разработкой и предназначена для управления различными станками (токарными, сверлильными, фрезерными, многоцелевыми). Основные характеристики системы [29, 30]:

- 2-16 управляемых осей: восемь осей в линейной интерполяции, две оси с перемещением от точки к точке, одна ось шпинделя;
- управление одновременно до восьми осей, из которых 8 непрерывных и скоординированных и 2 - от точки к точке;
- плоскость круговой интерполяции может быть применена к любой паре осей;
- винтовая интерполяция;
- сочетание круговой интерполяции с линейными и вращательными движениями;
- точность интерполяции в пределах одного микрона на метр радиуса;
- датчики установки положения: энкодер (разрешающая способность 0,1 мкм), оптические линейки;
- автоматическое управление векторной скоростью на профиле;
- управление ускорением и замедлением при круговой интерполяции;
- автоматическое замедление на углах;
- динамическая оптимизация скорости на профиле;
- память конфигурируемого перехода (максимально 64 кадра) для непрерывной обработки.

Система может быть достаточно легко и быстро настроена на конкретный станок путем изменения файлов конфигурации.

СЧПУ позволяет осуществлять программирование в G-кодах и, в дополнение к требованиям ГОСТ 20999-83, имеет встроенные технологические циклы, GTL – язык, и средства визуального программирования.

## 7.1. ФОРМАТ КАДРА

Все кадры программы должны иметь следующий формат:

DS N04, G02,  
X/Y/Z/A/B/C/U/W/V/P/Q/D/+05.4,R+05.4,I/J/K+05.4, F05.2, S05.2,  
T04.4, M02.

Максимальная длина кадра 128 символов. Каждый кадр должен заканчиваться символом LF (ISO). Все кадры, кроме комментирующего, могут иметь в начале три дополнительных поля, независимо от класса, к которому принадлежит кадр. А именно:

- 1) поле подтверждения кадра и выведения его из рабочего состояния (символ “/”);
- 2) поле метки;
- 3) поле номера кадра.

Они могут присутствовать в кадре по одиночке или одновременно. В случае, если они присутствуют одновременно, последовательность расположения одиночных полей должна быть в обязательном порядке следующей: 1), 2), 3). Поле подтверждения кадра и выведения его из рабочего состояния позволяет включить в программу кадры, выполнение которых зависит от параметра системы, названного USB [29, 30]. Если параметр является активным (равен «1»), кадр выполняется, в противном случае кадр рассматривается как комментирующий и игнорируется.

Пример: /N100G00X100.

Поле метки позволяет дать символическое название кадру, которому оно принадлежит. Метка служит для возможности вызова кадра из различных точек программы при помощи инструкций перехода. Метка — это алфавитно-цифровая последовательность символов, заключенная в знак «» (кавычки), максимальная длина которой шесть символов. Метка должна быть запрограммирована сразу же после поля «/», если оно присутствует.

Пример:

"START"N100G1X100  
/"END"N120Z300

Слово номер кадра служит для нумерации одиночных кадров программы. Номер кадра устанавливается символом «N» , за которым следует число размерностью до четырех знаков, и должен быть

запрограммирован в начале каждого кадра, но после символа «/» и метки.

Пример: N125  
"INIZIO" N 125  
/"FINE" N 125

## 7.2. ТИПЫ КАДРОВ

Система NC-201 допускает применение четырёх типов кадров:

- 1) комментирующие кадры;
- 2) кадры ISO;
- 3) кадры назначения;
- 4) кадры с трехбуквенными кодами.

Комментирующий кадр дает возможность программисту вводить в программу фразы (комментарии), делая, таким образом, программу более легко читаемой. Такой кадр не выдает сообщений на дисплее и не учитывается в стадии выполнения программы.

В общем случае комментирующий кадр состоит из последовательности алфавитно-цифровых символов, из которых первым элементом в обязательном порядке должен быть символ «;».

Пример: ;ЭТО – ПРИМЕР

Кадры ISO — это кадры, операторы которых предусмотрены стандартом ISO.

Пример: G1 X500 Y20 F200.

Кадры назначения (присвоения) непосредственно из программы пользователя позволяют определить величину нескольких глобальных параметров системы. Впоследствии, эти параметры могут быть использованы в других кадрах того же или другого класса. В зависимости от типа переменных, кадры назначения могут быть подразделены на три класса:

- 1) кадры назначения с переменными вычисления; например:  
E30 = 28.5;
- 2) кадры назначения с геометрическими переменными;  
например:  
p2 = X10 Y25;
- 3) кадры назначения с глобальными переменными системы;  
например:

UOV=1.5 .

Кадры с трехбуквенными кодами — это кадры, в которых тип операции, выполнение которой предусмотрено, определен трехбуквенной командой (кодом), согласованной со стандартом EIA 1177 В. Трехбуквенная команда со всеми переменными заключается в скобки.

Пример: (URT,45).

Координатные перемещения программируются при помощи адресных слов: A B C U V W X Y Z P Q D.

Координаты могут быть выражены в миллиметрах или дюймах и принимают значения от +(-) 0.0001 до +(-) 99999.9999.

Любая ось в фазе настройки системы может быть объявлена осью вращения. Программируемая величина от +(-) 0.0001 до +(-) 99999.9999 градусов.

При записи УП в любых цифровых значениях ведущие и ведомые нули, а также знак «+» могут быть опущены.

### **7.3. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПОДАЧИ**

Функция F программируется от 0.01 до 99999.99.

Функция G94 определяет подачу осей в мм/мин (если действует G71) или в дюйм/мин (если действует G70).

Функция G95 определяет подачу осей в мм/оборот (G71) или в дюймах/оборот (G70)

Функция G93 определяет обратное время в минутах выполнения участка, определенного из отношения: скорость подачи делить на расстояние. Функция F в G93 действительна только в одном кадре.

### **7.4. ПРОГРАММИРОВАНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ**

Функция S программируется от 0.01 до 99999.99.

Определяет скорость вращения шпинделя в об/мин при G97 или скорость резания в м/мин при G96.

## 7.5. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТА

Функция Т определяет инструмент, необходимый для обработки, и номер соответствующей коррекции. Программируемая величина от 1.0 до 9999.9999.

Цифры до десятичной точки определяют инструмент, после - номер корректора. Коррекция приводится в действие при помощи функции М06. Величины коррекции относятся к длине и диаметру (К) инструмента.

Корректировка длины приводится в действие без использования других подготовительных функций. Корректировка диаметра инструмента, вызванная одновременно с корректировкой длины, приводится в действие при помощи функций компенсации радиуса инструмента G41/G42.

## 7.6. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТАКАХ, ОСНАЩЕННЫХ СИСТЕМОЙ ЧПУ NC-201

### **7.6.1. Программирование подготовки к обработке**

Прежде чем начать процесс обработки необходимо подготовить станок к выполнению запланированных операций: определить единицы измерений, задать режимы резания, установить инструмент, подать, при необходимости СОЖ, включить шпиндель. Перечисленные операции выполняются при помощи вспомогательных и подготовительных функций, слов Т, S, F.

Используемые подготовительные функции: G70/G71, G93-G96. Все перечисленные функции (за исключением G97) применяются без дополнительных параметров, действуют в пределах программы до отмены другой аналогичной функцией (табл. 26) и дополнительных пояснений не требуют.

Остановимся более подробно на G96 – постоянная скорость резания. Существует дополнительная переменная действующая совместно с G96 – SSL, она позволяет определить предельную

скорость шпинделя. Это является необходимым в случае, когда система выполняет контроль постоянства скорости резания (G96).

Формат:

SSL = ВЕЛИЧИНА. ВЕЛИЧИНА — может быть константой или параметром такого же формата.

Пример.

SSL = 200 — устанавливает максимальную скорость шпинделя 200 об/мин;

SSL = 1500 — устанавливает максимальную скорость шпинделя 1500 об/мин.

При обработке в режиме постоянства скорости резания (G96), необходимо всегда программировать SSL до первого программирования функции G96 совместно с функцией S.

Пример:

G97S1000M3

.....

G00X70Z0

SSL = 2000 устанавливаем предельную частоту вращения шпинделя в 2000 об/мин

G96 S120 M3 устанавливаем постоянную скорость резания в 120 м/мин, включаем вращение шпинделя по часовой стрелке

G1X0F0,6

X70M5

Следует отметить, что некоторые подготовительные функции действуют по умолчанию, т. е. если обратимся к рассмотренному ранее примеру (несмотря на то, что в программе не указаны G70, G71, G93-95), можно однозначно сказать, что единицами измерения координат являются миллиметры, значение подачи выражено в миллиметр/оборот.

Применение вспомогательных функций, а также адресов S и F дополнительных пояснений не требует.

Подготовка инструмента к работе осуществляется с помощью адреса T, но не ввод в работу (по данной функции система УЧПУ производит поиск требуемого инструмента в магазине и перемещение его в позицию смены). Непосредственно установка инструмента в рабочее положение осуществляется по команде M6. Такой алгоритм позволяет сократить долю времени затрачиваемого на смену

инструмента при обработке, время на поиск и транспортировку инструмента совмещается с временем обработки предшествующим инструментом. В токарном варианте, при смене инструмента револьверной головкой функция T игнорируется, но номера инструмента и корректора запоминаются, а по M6 производится расфиксация револьверной головки, перемещение в требуемую позицию, закрепление и ввод в действие корректора.

Программа должна оканчиваться вспомогательной функцией M30 или M02.

Пример оформления программы токарной обработки:

N1G90G71G95G97F0.5S1000T1.1M6M3M8

...

N33M30

Или то же с учетом умолчаний и вспомогательной функции M13:

N1G97F0.5S1000T1.1M6M13

...

N33M30

Или с учетом того, что адреса можно писать через пробел, номера кадров можно опускать:

G97 F0.5 S1000 T1.1 M6 M13

...

M30

## 7.6.2. Программирование перемещений

Все перемещения программируются с использованием подготовительных функций G0, G1, G2 и G3, где номер функции задает характер перемещения, а последующее адресное слово (слова) координаты конечной точки перемещения.

### 7.6.2.1. Быстрое позиционирование осей G0

Функция G0 – ускоренное перемещение в заданную точку, определяет линейный тип движения, скоординированный по всем осям, запрограммированным в кадре.

Формат команды:

**G00 [ДРУГИЕ G] [ОСИ] [ОПЕРАНДЫ КОРРЕКТИРОВКИ]  
[СКОРОСТЬ ПОДАЧИ] [ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ].**

[ДРУГИЕ G] — все другие функции G, совместимые с G00;

[ОСИ] — представлены символом оси, за которым следует числовое значение в явной или неявной форме, могут присутствовать восемь осей максимально, они не должны быть взаимно переключаемыми;

[ОПЕРАНДЫ КОРРЕКТИРОВКИ] — коэффициенты коррекции на плоскости (u, v, w), подробнее можно ознакомиться в [1];

[СКОРОСТЬ ПОДАЧИ] — рабочая подача для скоординированных перемещений, она запоминается, но не выполняется, скорость подачи в кадре с функцией G00 определяется на базе скоростей быстрого хода;

[ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ] — вспомогательные функции M, S и T; в одном кадре можно программировать до четырёх функций M и по одной функции S и T.

В квадратные скобки заключены необязательные параметры.

#### 7.6.2.2. Линейная интерполяция (G01)

Линейная интерполяция (G01) определяет линейное одновременное движение, скоординированное по всем осям, которые запрограммированы в кадре, с заданной скоростью обработки.

Формат:

**G01 [ДРУГИЕ G] [ОСИ] [ОПЕРАНД КОРРЕКТИРОВКИ]  
[СКОРОСТЬ ПОДАЧИ] [ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ].**

[СКОРОСТЬ ПОДАЧИ] — выражает рабочую скорость (F), с которой выполняется движение. В случае отсутствия используется ранее запрограммированная скорость. Это означает, что в предшествующих кадрах должна быть запрограммирована величина подачи. В противном случае подается сигнал ошибки.

Описание остальных полей аналогично G0 в предыдущем пункте.

В качестве примера рассмотрим чистовую обработку детали, представленную на рис. 1.4.

После того определения траектории перемещений составляем таблицу опорных точек (табл. 7.1).

**Таблица 7.1****Координаты опорных точек**

<b>№ точки</b>	<b>X</b>	<b>Z</b>
И.т.	140	60
1	67,695	1
2	82	-46
3	104	-76
4	122	-76

На основании табл. 6 формируем УП:

N1 T1.1M6

N2 ;устанавливаем первый инструмент

N3 SSL=2200

N4 ;вводим ограничение числа оборотов

N5 G96 F0.1 S140 M13

N6 ;устанавливаем постоянную скорость резания 140 м/мин, подачу 0.1мм/об, включаем подачу СОЖ и правое вращение шпинделя

N7 X67.695 Z1

N8 ;ускоренно перемещаемся в точку 1

N9 G1 X82 Z-46

N10 ;выполняем обработку на рабочей подаче вдоль траектории от точки 1 до 4

N11 X104 Z-76

N12 X122

N13 G X140 Z60

N14 ;возвращаемся в исходную точку с ускоренной подачей

N15 M30

N16 ;конец программы, останов шпинделя, выключение СОЖ.

Несмотря на то, что в четвертом кадре отсутствует подготовительная функция, перемещение будет выполнено с ускоренной подачей, так как G0 действует по умолчанию (табл. 3). В шестом и седьмом кадрах нет необходимости указывать G1, так как ее действие распространяется до отмены функцией G0 (ноль можно опускать) в восьмом кадре.

### 2.6.2.3. Круговая интерполяция (G02-G03)

Круговая интерполяция (G02-G03) определяет круговое движение по часовой стрелке (G02) или против часовой стрелки (G03).

Это движение является скоординированным и одновременным по всем осям, запрограммированным в кадре с заданной скоростью обработки.

Формат:

(G02 или G03) [ДРУГИЕ G] [ОСИ] (I J или R+) [СКОРОСТЬ ПОДАЧИ] [ОПЕРАНДЫ] [КОРРЕКТИРОВКИ] [ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ].

[ОСИ] представлены символом оси и цифровым значением в явной или неявной форме (параметр Е). Если ни одна ось не запрограммирована или координаты прибытия равны координате отправления, то выполняемым движением будет полное круговое движение в плоскости интерполяции. Оси могут быть определены неявным образом посредством геометрического элемента — точки.

I и J являются адресными словами, выражающими координаты центра окружности, цифровая часть которых может быть выражена в явной или неявной форме. Используемыми символами всегда являются I и J независимо от плоскости интерполяции и всегда присутствуют.

R адресное слово, выражающее радиус дуги окружности, цифровая часть которой может быть выражена в явной или неявной форме (параметр Е); знак «+» или «-» перед адресным словом R выбирает одно из двух возможных решений: • «+» - для дуги до 179.9990; • «-»— для дуги от 1800 до 359.9990.

Направление кругового движения (по часовой или против часовой стрелки) определяется, по направлению в плоскости интерполяции если смотреть со стороны положительной полуоси, перпендикулярной к плоскости в соответствии с рис. 7.1.

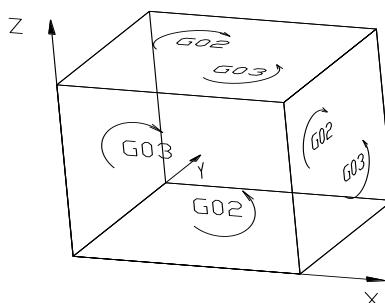
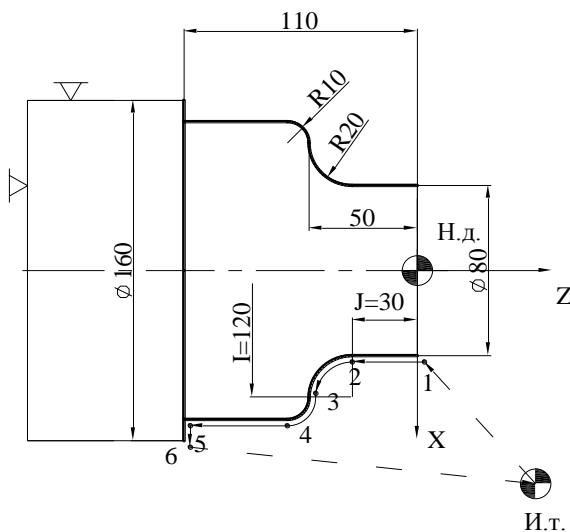


Рис. 7.1. Схема определения типа круговой интерполяции

Координаты начальной точки, запрограммированные в предшествующем кадре, конечной точки и центра окружности должны быть вычислены таким образом, чтобы разница между начальным и конечным радиусом не превышала бы 0,01 мм. Если разница превышает это значение, воспроизводится запись «Профиль не конгруэнтен», и окружность не выполняется.

В качестве примера можно представить обработку заготовки детали, представленной на рис. 7.2.



Номер точки	X	Z
И.т.	170	60
1	80	1
2	80	-30
3	120	-50
4	140	-60
5	140	-110
6	166	-110

Рис. 7.2. Обработка поверхностей детали с применением круговой интерполяции

При перемещении из точки 2 в точку 3 действует круговая интерполяция по часовой стрелке G2, а из 3 в 4 – G3.

N1 T1.1M6

N2 SSL=2200

N3 G96 F0.1 S140 M13

N4 X80 Z1

N5 G1 Z-30

N6 G2 X120 Z-50 I120 J-30

N7 ;применяем круговую интерполяцию по часовой стрелке с центром окружности X=120 мм и Z=-30 мм.

N8 G3 X140 Z-60 I120 J-60

N9 ;применяем круговую интерполяцию против часовой стрелки с центром окружности X=120 мм и Z=-60 мм.

N10 G1 Z-110

N11 X166

N12 G X170 Z60

N13 M30

Или если круговую интерполяцию указать при помощи радиуса:

...  
N6 G2 X120 Z-50 R+20  
N8 G3 X140 Z-60 R+10

...  
После адреса R применен знак «+», т. к. каждая из дуги охватывает область угловой протяженностью менее  $180^\circ$  (сектор равный  $90^\circ$ ).

### **7.6.3. Программирование в абсолютной системе, по приращениям и относительно нуля станка (G90, G91, G79)**

До сих пор программировались все перемещения относительно нуля детали, однако система ЧПУ позволяют выполнять программирования и другими методами путем использования подготовительных функций:

G90 — программирование в абсолютной системе (движения относительно нуля детали, действует по умолчанию);

G91 — программирование в системе по приращениям (движения относительно последнего местоположения);

G79 — программирование относительно нуля станка (применяется редко и рассматриваться нами не будет).

Программирование по приращениям удобно использовать, когда размеры на чертеже указаны не от одной базы, а в виде размерной цепи. При таком методе программирования координаты последующей точки записываются относительно предыдущей, при этом, если перемещение осуществляется против положительного направления оси, то перед числовым значением координаты ставится знак «-». В качестве примера запишем УП в приращениях.

N1 T1.1M6

N2 SSL=2200

N3 G96 F0.1 S140 M13

N4 X80 Z1

N5 G91 G1 Z-31

N6 ;переходим к программированию в приращениях

N7 G2 X120 Z-50 I120 J-30

N8 ;применяем круговую интерполяцию по часовой стрелке с центром окружности X=120 мм и Z=-30 мм.

N9 G3 X140 Z-60 I120 J-60

N10 ;применяем круговую интерполяцию против часовой стрелки с центром окружности X=120 мм и Z=-60 мм.

N8 G1 Z-110

N9 X166

N10 G X170 Z60

N11 M30

#### **7.6.4. Определение режима динамики приводов при программировании**

Как известно, любые движущиеся, вращающиеся механические системы, в том числе привода подач, обладают определенными инерционными свойствами. С точки зрения механической обработки, это является определенным недостатком, который оказывается на производительности обработки. Механизм такой связи следующий: изменения траектории перемещения инструмента не может быть выполнено мгновенно, требуется определенные затраты времени на замедление или ускорение привода в опорных точках траектории инструмента.

Функциями, управляемыми динамическим режимом приводов, являются: G27, G28, G29.

G27 – обеспечивает непрерывное движение с автоматическим уменьшением скорости на углах; это значит, что скорость выхода из элементов профиля вычисляется автоматически в соответствии с геометрической формой профиля. Торможение и ускорение по осям осуществляется при подходе к опорной точке таким образом, что в опорной точке инструмент имеет скорость подачи по осям, соответствующую следующему элементу профиля. При таком динамическом режиме обеспечивается требуемая точность обработки при удовлетворительных затратах времени. Функция G27 действует по умолчанию.

G28 – обеспечивает непрерывное движение без автоматического уменьшения скорости на углах. Это означает, что скорость выхода из элементов профиля равна запрограммированной скорости. При таком режиме обеспечивается наименьшее время обработки за счет исключения промежуточных торможений в опорных точках траектории. Однако вследствие наличия инерции

привода, особенно при высоких скоростях резания и небольших припусках (характерно для чистовой обработки), возможно искажение траектории в опорных точках, что ведет к появлению «зарезов». Такой режим можно рекомендовать для черновой обработки.

G29 – обеспечивает движение в режиме «от точки к точке», т. е. скорость выхода из элементов профиля установлена равной «0». К моменту прихода в опорную точку инструмент полностью останавливается. Такой режим обеспечивает максимальную точность обработки, но при этом возрастают затраты времени на обработку, что может быть существенным, если обработка ведется со значительными подачами, траектория имеет много опорных точек с незначительным расстоянием между ними (многопроходная черновая обработка).

Тип позиционирования, который осуществляется со скоростью обработки G1, G2, G3, установлен функциями G27, G28, G29, в то время как быстрое позиционирование G00 осуществляется всегда «от точки к точке», т. е. со сведением скорости к нулю и точным позиционированием, независимо от состояния, в котором находится система (G27,G28,G29). Во время непрерывного движения (G27-G28) система запоминает профиль, который должен быть реализован, поэтому элементы профиля выполняются как один кадр. По этой причине во время прохождения профиля с G27-G28 использование вспомогательных функций M, S и T недопустимо. Непрерывное функционирование временно прекращается движением по G00, которое является частью профиля. Если необходимо запрограммировать вспомогательные функции M, S, T, программирование осуществляется в кадре, следующем после G00.

В ряде случаев можно принудительно осуществить торможение приводов в опорной точке независимо от динамического режима, применяя функцию G09:

G09 - устанавливает подачу, равную нулю, в конце кадра, где она была запрограммирована, но не изменяет ранее установленный режим динамики профиля, если он находится в процессе обработки; функция действительна только в том кадре, в котором запрограммирована.

Когда требуется осуществить паузу в процессе обработки, используют функцию G04.

G04 осуществляет выдержку времени в конце кадра. Время выдержки запрограммировано в кадре назначения TMR = значение; функция G04 действительна только в том кадре, в котором запрограммирована.

Глобальная переменная TMR позволяет назначить выдержку времени в конце кадра, а отработка этой паузы производится в кадрах с функциями G04 и/или в постоянных циклах.

Формат:

TMR = ВЕЛИЧИНА. ВЕЛИЧИНА - может быть запрограммирована явным и/или неявным (параметр Е формата LR) образом.

В качестве примера рассмотрим операцию формообразования канавки (рис. 7.3).

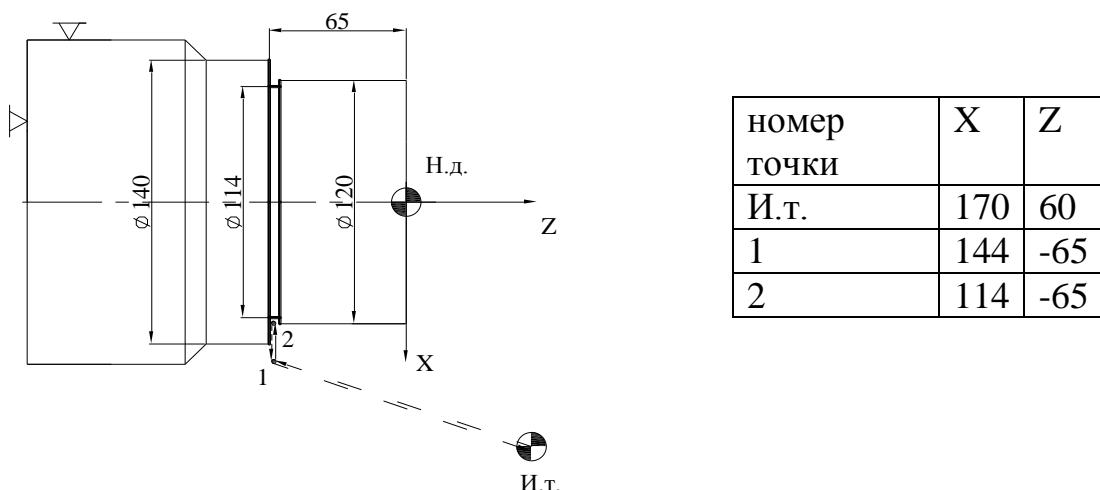


Рис. 7.3. Пример обработки канавки

N1 T1.1M6

N2 TMR=1.5

N3 ;устанавливаем величину паузы в 1.5 с.

N4 F0.1 S700 M13

N5 X144 Z-65

N6 G4 G1 X114

N7 ;устанавливаем паузу в точке 2 для выравнивания дна канавки

N8 G X122

N9 X140 Z60

N10 M30

### 7.6.5. Нарезание резьбы

Нарезание резьбы с постоянным или переменным шагом определяет цикл цилиндрического или конического нарезания резьбы с постоянным или переменным шагом. Это движение координируется с вращением шпинделя. Запрограммированные в кадре параметры определяют тип резьбы, которую следует осуществить. В рассматриваемой СЧПУ существуют две подготовительные функции нарезания резьбы G33 и G34, отличающиеся только способом задания шага.

Формат:

G33 [ОСИ] K [I] [R].

K представляет шаг резьбы; в случае переменного шага, представляет начальный шаг, который должен присутствовать всегда.

[I] представляет изменение шага; для нарезания резьбы с возрастающим шагом I должна быть положительной, для нарезания резьбы с уменьшающимся шагом должна быть отрицательной.

[R] представляет отклонение по отношению к угловой позиции нуля шпинделя (в градусах); используется при многозаходной резьбе для того, чтобы не сдвинуть начальную точку.

Функция R дает команду системе для размещения осей в угловой позиции, которая меняется в зависимости от запрограммированной величины R. Таким образом, представляется возможным программировать одну начальную точку для различной нарезки в отличие от других систем, в которых для осуществления многозаходной резьбы необходимо сместить начальную точку каждой нарезки на величину, равную шагу, разделенному на количество заходов.

Во время нарезания резьбы с уменьшающимся шагом, начальный шаг, изменения шага и длина нарезания резьбы должны быть такими, чтобы шаг не становился равным нулю до достижения конечного размера. Для проверки применяется формула

$$I \leq \frac{K}{Z_K - Z_H},$$

где K - начальный шаг; Z<sub>K</sub> - координата конечной точки; Z<sub>H</sub> - координата начальной точки.

## Формат G34:

G34 [OSI] K+ [I] [R].

**K+ - шаг резьбы.**

Знак для величины шага устанавливается в зависимости от величины перемещения по осям:

- «+» - перемещение больше вдоль оси абсцисс (Z);
  - «-» - перемещение больше вдоль оси ординат (X).

Пример нарезания однозаходной цилиндрической резьбы представлен на рис. 7.4.

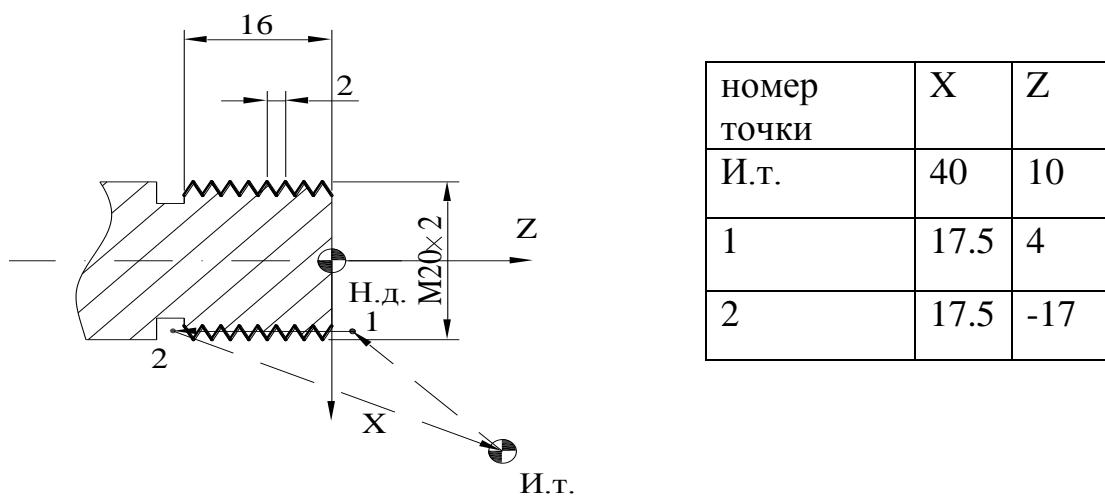


Рис. 7.4. Пример нарезания цилиндрической резьбы

N1 T1.1M6

N2 S300 M13

N3 X17.5 Z4

N4 G33 Z-17 K2

или N4 G34 Z-17 K2

N5 G X40 Z10

N6 M30

#### 7.6.6. Технологические циклы

Программирование многопроходных черновых операций по съему большого количества материала (особенно при обработке деталей из проката) средствами языка ISO может оказаться достаточно трудоемкой задачей. В связи с этим практически любая система ЧПУ содержит вспомогательные технологические циклы, автоматизирующие многопроходную обработку типовых

поверхностей. При использовании подобных циклов система автоматически выполняет разделение снимаемого припуска на отдельные проходы, осуществляет расчет и автоматическое выполнение траектории перемещений инструмента.

Основные циклы токарной обработки системы ЧПУ NC-201:

- 1) TGL — цикл нарезания пазов;
- 2) FIL — цикл нарезания резьбы;
- 3) SPA — осепаралльная черновая обработка без чистовой обработки;
- 4) SPF — осепаралльная черновая обработка с предварительной чистовой обработкой;
- 5) SPP — черновая обработка параллельно профилю;
- 6) CLP — чистовая обработка профиля.

#### *7.6.6.1. Многопроходная осепаралльная черновая обработка*

Чтобы запрограммировать черновую обработку параллельно оси X, используется следующий формат:

(SPA, X, n, L, X, Z).

Чтобы запрограммировать черновую обработку параллельно оси Z используется формат:

(SPA, Z, n, L, X, Z),

где X или Z – признак оси (без значения) параллельно которой производится обработка; n - номер профиля, ранее запомненного с DFP. Он обязателен и может изменяться от 1 до 8; X - радиальный припуск по оси X под последующую обработку; Z - радиальный припуск по оси Z под последующую обработку; L - число черновых проходов. Может изменяться от 1 до 255.

X и Z можно пропустить. Если они присутствуют, то всегда должны иметь положительную величину.

На основе начальной точки и направления профиля устройство управления автоматически решает, какой должна быть черновая обработка - внутренней или внешней, и присваивает соответствующий знак припуску.

Начальная точка должна быть внешней относительно поля черновой обработки, по крайней мере, на величину программируемого припуска. Если профиль не монотонный, т. е., если он включает в себя выемки, инструмент автоматически обходит

выемки во время черновой обработки. После окончания обработки инструмент находится в точке, отстоящей от конечной точки профиля на расстоянии припуска плюс величина отскока (рис. 7.5).

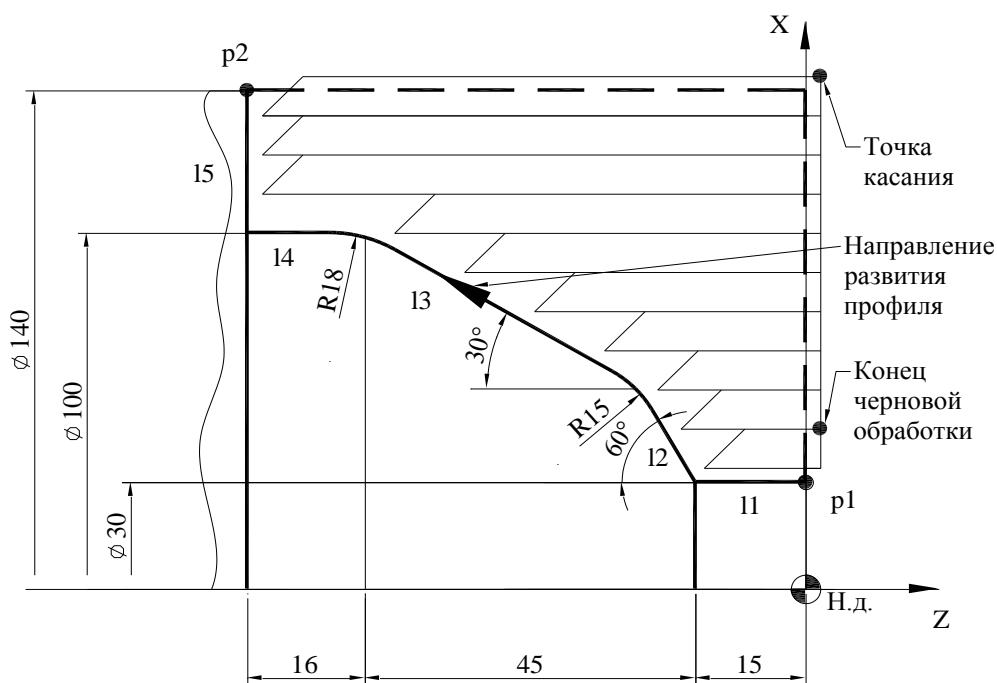


Рис. 7.5. Схема перемещений инструмента при многопроходной обработке по циклу SPA

В качестве примера продолжим составление программы по черновой обработке детали рис. 7.3:

```

...
N12 T1.1M6
N13 F1 S300 M13
N14 G X162 Z1.5
N15 ;помещаем инструмент в начальную точку цикла
N16 (SPA, Z, 1, L10, X1, Z1)
N17 ;выполняем многопроходную черновую обработку
    параллельно оси Z, ограниченную профилем под номером 1,
    обработка выполняется за 10 проходов, припуск под последующую
    обработку 1мм
N18 G X170 Z60
...

```

### *7.6.6.2. Осепараллельная черновая обработка с последующей получистовой обработкой*

Для программирования черновой обработки, параллельной оси X с конечной обработкой вдоль профиля, используется следующий формат:

$$(SPF, X, n, L, X., Z).$$

Для программирования черновой обработки параллельной оси Z, используется формат:

$$(SPF, Z, n, L, X, Z).$$

Параметры цикла имеют те же значения, что и в SPA.

Запрограммированный профиль должен быть однородным. Иначе будет воспроизводиться сообщение ошибки. Отличие обработки по циклу SPF от SPA заключается в том, что обработка завершается проходом инструмента вдоль контура детали и после обработки инструмент перемещается в точку начала цикла.

### *7.6.6.3. Черновая обработка параллельно профилю*

Если заготовка имеет форму, приближенную к детали (поковка, отливка и т. п.), использование циклов обработки параллельно оси является неэффективным: значительное число холостых перемещений на рабочей подаче, большое количество врезаний инструмента в металл. В таком случае обработка идет следующим образом: инструмент в каждом проходе перемещается по траектории, повторяющей профиль детали (рис. 7.6).

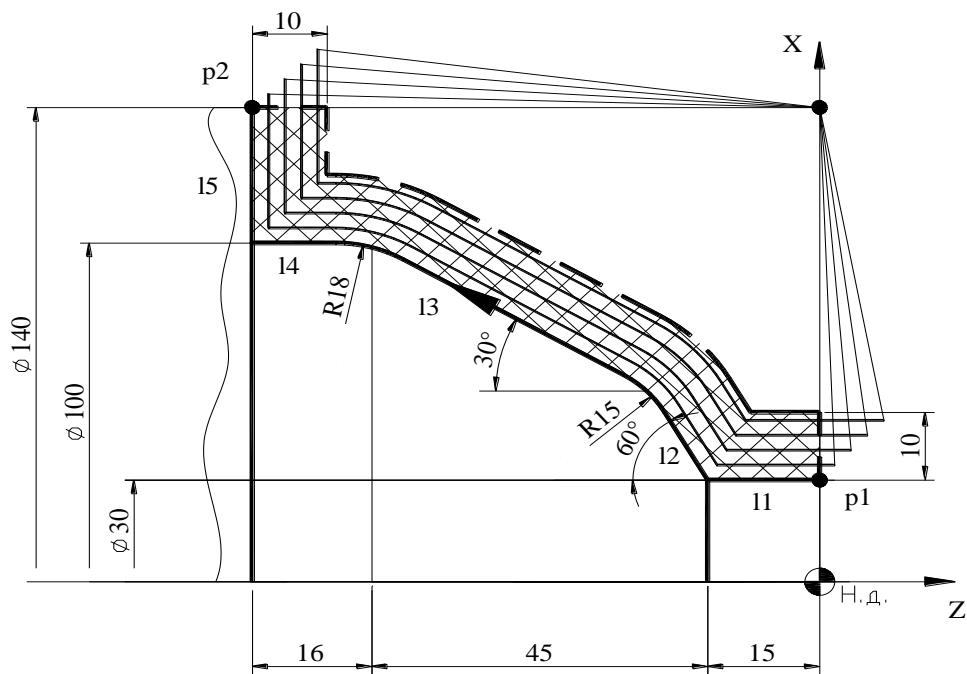


Рис. 7.6. Схема удаления припуска при черновой обработке параллельной профилю

Приведенный алгоритм обработки реализуется с помощью цикла SPP.

Формат:

$$(SPP, n, L, X1 \ X2, Z1 \ Z2).$$

$n$  - номер профиля.

$L$  - число проходов.

$X1$  – припуск по оси  $X$ , оставленный под последующую обработку.

$X2$  – припуск по оси  $X$  на необработанной детали.

$Z1$  – припуск по оси  $Z$ , оставленный под последующую обработку.

$Z2$  - припуск по оси  $Z$  на необработанной детали.

$X1$  и  $Z1$  - обязательны, даже если их величина равна нулю.

Начальная точка определяется аналогично как и в SPA - SPF.

В качестве примера рассмотрим обработку поверхности детали, представленной на рис. 7.7. Заготовка имеет на внутренних поверхностях припуски по 10 мм. Тогда программа будет иметь вид:

```

N1 (DFP, 1)
N2 G X120 Z0
N3 G1 Z-20
N4 X100

```

N5 Z-40  
 N6 X60 Z-80  
 N7 X40  
 N8 (EPF)  
 N9 T1.1M6  
 N10 F1 S300 M13  
 N11 G X38 Z1.5

N12 ;помещаем инструмент в начальную точку цикла  
 N13 (SPP, 1, L4, X1 X10, Z1 Z10)

N14 ;выполняем многопроходную черновую обработку параллельно профилю 1, обработка выполняется за четыре прохода, припуск под последующую обработку 1 мм.

N15 G X170 Z60

N16 M30

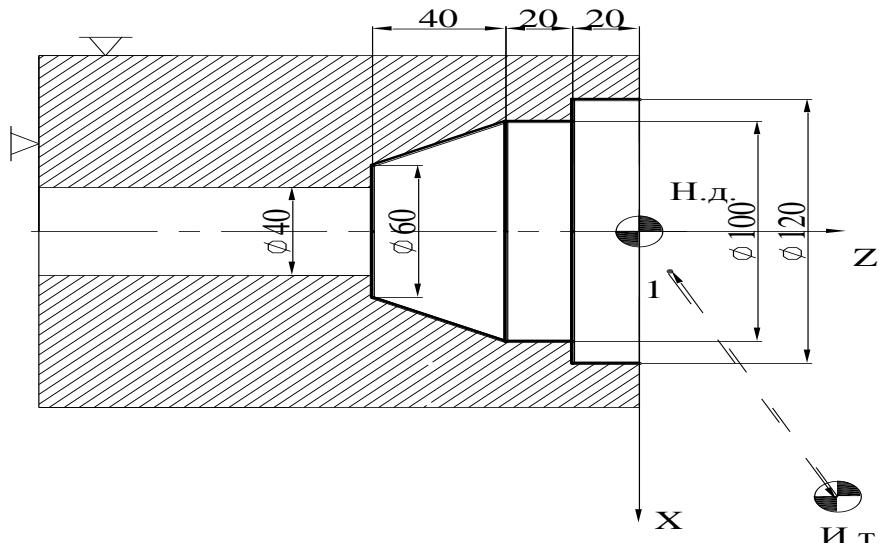


Рис. 7.7. Пример обработки поверхностей детали с использованием цикла SPP

#### 2.6.6.4. Цикл чистовой обработки профиля

Для программирования чистовой обработки профиля используется следующий формат:

(CLP, n),

n - имя профиля, ранее определенного с DFP.

CLP - это единственный цикл обработки, во время которого могут активизироваться функции F, программируемые внутри DFP.

В процессе выполнения данного цикла инструмент перемещается вдоль запрограммированного профиля в направлении его развития. Рассматриваемый цикл позволяет использовать для чистовой обработки ранее запрограммированный профиль для многопроходной обработки, облегчая программирование и сокращая затраты на разработку УП. В качестве примера завершим обработку детали, представленной на рис. 8.3.

...  
N19 T3.3 F0.25 S1000 M6

N20 ;устанавливаем чистовой резец и устанавливаем режимы резания, соответствующие чистовой обработке.

N21 X80 Z1

N22 (CLP, 1)

N23 ;выполняем чистовую обработку профиля 1.

N24 G X170 Z60

N25 M30

## **7.7. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ НА ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРАХ**

### **7.7.1. Программирование угловых перемещений**

Программирование обработки рассмотрим на условном станке, оснащенном крестовым столом с вертикальным расположением оси шпинделя и магазином с автоматической сменой инструмента.

Если станок оснащен поворотным столом, одна из осей может быть определена как ось вращения.

Программирование так называемого «непрерывного поворотного стола», движение которого является одновременным и скоординированным с движением других осей, запрограммированных в том же кадре, очень простое.

Необходимо учитывать следующие моменты:

- программирование должно быть выполнено в градусах и десятичных дробях градуса от +0,00001 до +99999,9999 градусов, начиная с предварительно установленной начальной точки;

- перемещение может быть осуществлено на быстром ходу с функцией G00 или с рабочей подачей при функции G01,

программируя скорость вращения в град/мин (с точностью до сотых долей градуса) посредством функции F.

Например, при программировании F75.5 ось будет вращаться со скоростью 75,5 град/мин. Если необходимо выполнить фрезерование вдоль окружности с использованием поворотного стола, для вычисления скорости угловой подачи, которую надо запрограммировать, следует использовать следующую формулу:

$$F = \frac{360}{\pi} \frac{A}{D} = 144.64 \frac{A}{D},$$

где F - угловая скорость, град/мин; A - линейная скорость вдоль окружности, мм/мин; D - диаметр, на котором выполняется фрезерование, (мм).

Когда вместе с вращательными осями движутся также и линейные оси, для вычисления скорости подачи, которую надо запрограммировать, нужно использовать следующую формулу:

- при G94

$$F = A \cdot \frac{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2 + B^2 + C^2}}{L}$$

- при G93:

$$F = \frac{A}{L},$$

где F -скорость подачи, которую надо запрограммировать; A - скорость подачи, требуемая для обработки заготовки детали, мм/мин; X Y Z B C - фактическое перемещение, выполненное каждой осью (миллиметры – для линейных осей, градусы – для вращательных); L - длина результирующей траектории, мм.

Траекторией будет:

- дуга окружности в случае, когда движется только ось вращения;

- дуга Архимеда, цилиндрическая спираль или же сложные кривые, если ось вращения движется вместе с одной или несколькими линейными осями.

## 7.7.2. Программирование обработки отверстий на станках типа ОЦ

С целью облегчения процедуры программирования обработки отверстий разработан ряд постоянных циклов (G80-G89), функциональное назначение которых закреплено в ГОСТ 20999-83.

Функции постоянных циклов G81 – G89, позволяют программировать ряд операций (сверление, нарезание резьбы метчиком, растачивание и т.д.) без повторения для каждой из них размеров отверстия (табл. 7.2).

**Таблица 7.2**  
**Характеристики постоянных циклов**

<b>Постоянный цикл</b>	<b>Подход</b>	<b>Функция на дне отверстия</b>		<b>Возврат</b>
		<b>выдержка времени</b>	<b>вращение шпинделя</b>	
G 81 сверление	рабочая подача	нет	Рабочая скорость	быстрый ход
G 82 растачивание	рабочая подача	да	Рабочая скорость	быстрый ход
G 83 глубокое сверление	в прерывистой работе	нет	Рабочая скорость	быстрый ход
G 84 нарезание резьбы метчиком	рабочая подача, начало вращения шпинделя	нет	изменение направления	рабочая подача
G 85 рассверливание	рабочая подача	нет	Рабочая скорость	рабочая подача
G 86 развертывание	рабочая подача, начало вращения шпинделя	нет	останов	быстрый ход
G 89 развертывание с растачиванием	рабочая подача	да	Рабочая скорость	рабочая подача

Формат кадра постоянного цикла следующий.

**G8X [R1[R2]] КООРДИНАТА ЦИКЛА [ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАНДЫ] [СКОРОСТЬ ПОДАЧИ] [ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ].**

[R1[R2]] - это координаты, определенные в явном или неявном виде (параметр E), относящиеся к оси шпинделя; они определяют координаты быстрого позиционирования в плоскости обработки в точке начала обработки и координаты возврата в конце обработки; если R2 отсутствует, то R1 считается конечной координатой.

**КООРДИНАТА ЦИКЛА** определяет координату глубины отверстия, значение которой выражено в явном или неявном виде (параметр E), и ось, вдоль которой выполняется цикл.

[СКОРОСТЬ ПОДАЧИ] определяется символом «F»; выражает скорость подачи, с которой выполняется обработка отверстия; если отсутствует, то скоростью подачи будет последняя запрограммированная «F».

[ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАНДЫ] являются operandами, определяющими параметры частных операций (например, I, J, K для глубокого сверления);

[ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ] определяют функции S, M, T, H.

Последовательность движений при выполнении постоянного цикла можно представить следующим образом (рис. 7.8):

- быстрое позиционирование к оси отверстия;
- быстрый подход к плоскости обработки;
- перемещение со скоростью рабочей подачи до запрограммированного размера (Z);
- функции цикла на дне отверстия;
- возвращение на быстром ходу или со скоростью рабочей подачи к координате R1 (R2), если координата возврата отличается от координаты подхода R1.

При использовании постоянных циклов следует учитывать следующие ограничения:

В кадре, содержащем функцию G постоянного цикла, не программируется никакое дополнительное движение осей, кроме самого цикла; цикл не приводится в действие, а кадр заносится в память системы. Цикл стартует координатами, запрограммированными сразу после кадра, содержащего постоянный

цикл (после выполнения первого цикла для того, чтобы выполнить последующие циклы, идентичные первому, достаточно запрограммировать координаты точек отверстия).

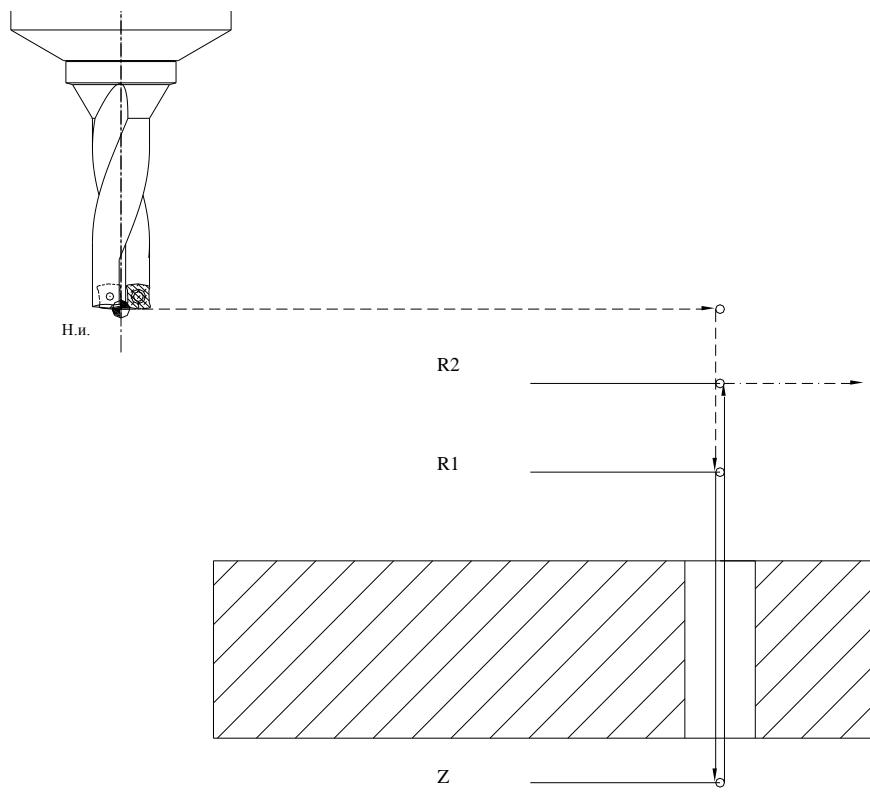


Рис. 7.8. Схема перемещений инструмента по циклам G81 – 89

Продолжительность паузы на дне отверстия программируется трехбуквенным кодом TMR.

Не представляется возможным программировать G8X, если профиль запрограммирован на языке GTL и/или внутри G41/G42 – G40.

Невозможно программировать новый постоянный цикл без закрытия предыдущего постоянного цикла с помощью G80.

Формат постоянных циклов G81, G82, G85, G86, G89:

**G8X [R1[R2]] Z.**

X – 1, 2, 5, или 6.

В качестве примера рассматривается сверление отверстий в детали (рис. 7.9).

Соответственно программа будет иметь вид:

N1 T1.1 M6

N2 S1100 F95 M13

N3 Z45

N4 G81 R33 R43 Z-5

N5 ;задание параметров постоянного цикла сверления

N6 X-40 Y-40

N7 ;движение к точке 1 и выполнение цикла

N8 Y40

N9 ;движение к точке 2 и выполнение цикла

N10 X40

N11 ;движение к точке 3 и выполнение цикла

N12 Y-40

N13 ;движение к точке 4 и выполнение цикла

N14 G80 X-90 Y-90 Z80

N15 ;отмена действия цикла, возврат в исходную точку

N16 M30

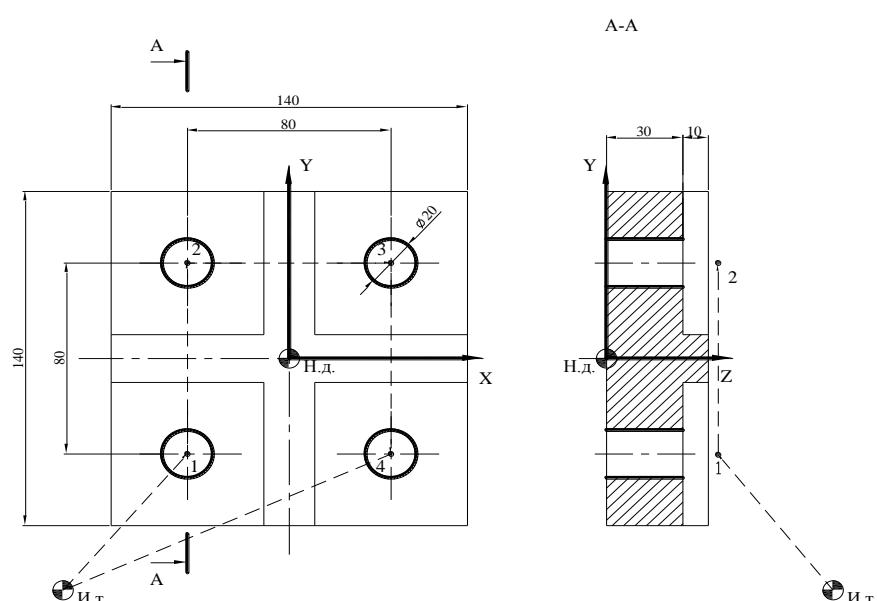


Рис. 7.9. Пример программирования постоянного цикла сверления

Постоянный цикл G81 может быть использован для операций растачивания, развертывания и центровочного сверления. Программирование постоянных циклов G82, G85, G86, G89 идентично программированию G81. В кадры, предшествующие постоянным циклам G82 и G89, вводится при необходимости выдержка времени через команду TMR.

### 7.7.2.1. Постоянный цикл глубокого сверления (G83)

Формат кадра:

G83 [R1..[R2..]] Z..I..[K..] [J..].

I – приращение размера Z после каждого цикла удаления стружки.

[J] – минимальное приращение цикла удаления стружки; после достижения программируемого значения следуют постоянные приращения.

[K] – коэффициент уменьшения параметра I (до достижения величины J).

Присутствие или отсутствие этих параметров определяет два разных цикла:

1. Если заданы параметры I, K, J, цикл имеет следующие шаги:

- быстрый подход к оси отверстия для обработки;
- быстрый подход к точке R1;
- подход с рабочей подачей к точке R1+I;
- быстрый возврат к точке R1 (удаление стружки);
- вычисление нового значения R1:  $R1=R1+I-1$ ;
- вычисление нового значения I:  $I=I \cdot K$ , если  $I \cdot K \geq J$ , и  $I=J$  если,  $I \cdot K < J$ .

Шаги, начиная со второго, выполняются один за другим до получения запрограммированного размера глубины сверления. Для сохранения параметра I неизменным (постоянное приращение) нужно запрограммировать K = 1 при отсутствии параметра J.

2. Если параметры K и J не заданы (дробление стружки без удаления) - подача с постоянным приращением и выдержка времени при любом приращении обеспечивается следующими шагами:

- быстрый подход к центру отверстия для обработки;
- быстрый подход к размеру R1;
- рабочая подача к точке R1+I;
- выдержка времени, запрограммированная с TMR;
- подход по другой величине I; (Три последних шага следуют один за другим до достижения запрограммированного размера глубины);
- быстрый выход из отверстия к точкам R1 или R2, если R2 запрограммирована.

### 7.7.2.2. Постоянный цикл нарезания резьбы метчиком (G84)

Постоянный цикл нарезания резьбы метчиком (G84) может быть выполнен двумя способами:

1. Шпиндель без датчика:

Формат кадра цикла G84:

G84 [R1][R2] Z... .

Z - конечная координата нарезания резьбы.

При программировании необходимо учитывать следующее:

- размер перемещения быстрого хода инструмента к заготовке детали в операциях нарезания резьбы метчиком должен всегда заканчиваться на расстоянии от заготовки детали, равном пяти шагам резьбы, если глубина до трёх диаметров, или семи шагам, если глубина больше трёх диаметров;

- скорость подачи F, которую следует запрограммировать, вычисляется следующим образом:

$$F = S \cdot p \cdot 0,9 ,$$

где S - скорость вращения шпинделя; P - шаг резьбы; 0,9 - коэффициент уменьшения скорости для сохранения упругости пружинного компенсатора резцодержателя.

Окончательный размер Z должен быть уменьшен на величину, равную 10% от фактического рабочего хода метчика;

2. Шпиндель с датчиком:

В данном случае существует два способа программирования функции G84:

- использование программирования скорости подачи F как в случае для шпинделя без датчика;

- использование программирования шага резьбы K; в этом случае система автоматически вычисляет подачу, умножая шаг K на число оборотов шпинделя.

Формат кадра цикла G84:

G84 [R1][R2] Z K.

K - шаг резьбы.

### 7.7.2.3 Особенности постоянных циклов

Внутри постоянных циклов можно программировать не только координаты оси отверстия, но и менять параметры цикла R1, R2, Z.

Если внутри постоянного цикла программируется кадр типа X,Y, R или же X,Y,R и/или Z, размеры R и/или Z постоянного цикла будут изменены, и движения осей будут выполнены в следующем порядке:

- X и Y;
- R1, R2 обновленная;
- Z обновленная.

Это позволяет менять глубину отверстия и переходить от обработки на одной плоскости к обработке на другой плоскости ниже или выше без отмены постоянного цикла функцией G80.

Пример представлен на рис. 7.10.

N1 S1000 F100 T1.1 M6

N2 G81 R22 Z-6 M13

N3 X25 Y25

N4 ; выполняем сверление первого отверстия

N5 X60 R22 R32

N6 ;выполняем обработку второго отверстия, и т. к. третье отверстие расположено выше второго на 10мм принимаем R2=32, в итоге после обработки второго отверстия инструмент поднимется до Z=32

N7 Y75 R32 R42 Z15

N8 ;аналогично меняем параметры цикла при обработке третьего отверстия, Z=15 – отверстие глухое, R42 – подываем после обработки инструмент до 42 мм во избежание столкновения с деталью при перемещении к четвертому

N9 Y175 R37 Z-6

N10 ; R37 начинаем обработку четвертого отверстия, припуск на врезание – 2 мм;

N11 X95

N12 G80 Z50

N13 X-20 Y0 M30

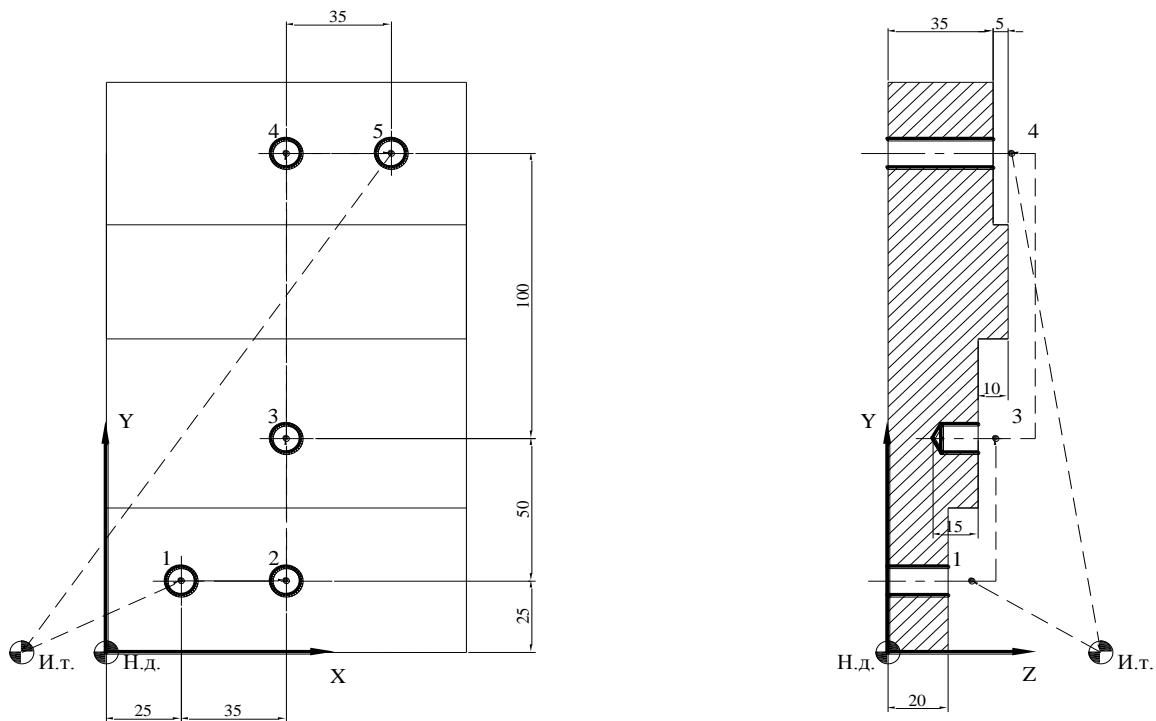


Рис. 7.10. Плита

### 7.7.3. Программирование фрезерной обработки

Наряду с операциями обработки отверстий на вертикальном обрабатывающем центре выполняются операции фрезерования. Программирование фрезерной обработки поверхностей дисковыми и торцовыми фрезами не вызывает каких-либо затруднений.

Программирование обработки контуров концевыми фрезами имеет ряд особенностей.

#### 7.7.3.1. Компенсация радиуса инструмента (*G41-G42-G40*)

Рассмотрим следующую ситуацию: допустим необходимо выполнить фрезерование контура детали, представленной на рис. 7.11. Для обработки принимаем цилиндрическую концевую фрезу Ø16 мм. У вращающегося инструмента обычно точка привязки расположена на оси вращения (рис. 7.11).

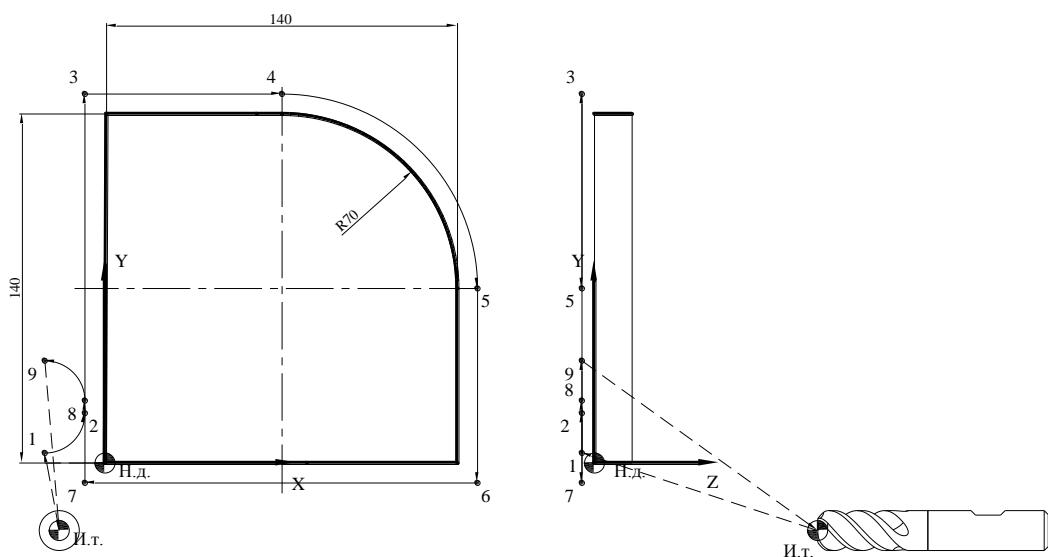


Рис. 7.11. Траектория перемещения инструмента при обработке контура

В таком случае траектория перемещения инструмента – это траектория перемещения точки, лежащей на оси его вращения. Очевидно, что такая траектория будет повторять контур детали и лежать на постоянном удалении от детали равном радиусу инструмента (рис. 2.11). Траектория, лежащая на равном расстоянии от контура детали, называется эквидистантой.

Запишем УП для обработки представленной детали:

N1 T1.1 M6

N2 S1100 F95 M13

N3 X-24 Y4 Z-3

N4 G3 X-8 Y20 R16

N5 ;осуществляем плавное врезание инструмента на глубину припуска

N6 G1 Y148

N7 X70

N8 G2 X148 Y70 R78

N9 G1 Y-8

N10 X-8

N11 Y22

N12 G3 X-24 Y38 R16

N13 G X-20 Y-25 Z50

N14 M30

Представим следующую ситуацию: допустим на текущий момент нет фрез  $\varnothing 16$  мм, а есть фрезы  $\varnothing 18$  мм, следовательно, данная программа уже становится непригодной для обработки. В такой

ситуации приходится разрабатывать новую траекторию перемещения инструмента, рассчитывать новые опорные точки, проводить корректировку кадров УП. Данный недостаток значительно снизил бы эффективность использования станков с ЧПУ. Как видно из представленного примера, при изменении размеров инструмента траектория перемещений не меняется, меняются лишь координаты опорных точек в зависимости от текущего диаметра инструмента. С данной задачей легко справляется система ЧПУ при использовании подготовительных функций компенсации размеров инструмента (G41, G42):

- G41 - включение компенсации, инструмент слева от заготовки детали;
- G42 - включение компенсации, инструмент справа от заготовки детали;
- G40 - отмена компенсации.

Особенностью использования компенсации инструмента на рассматриваемой системе ЧПУ является то, что при программировании траектории перемещений условно принимается диаметр инструмента, равный нулю. Траектория инструмента совпадает с обрабатываемым контуром и в программе фактически описывается обрабатываемый контур.

Какую из двух функций использовать определить очень просто: достаточно посмотреть на инструмент в направлении его перемещения (если инструмент находится слева от детали – G41, справа – G42).

До программирования компенсации радиуса инструмента необходимо определить плоскость интерполяции. Как известно, плоскость интерполяции может быть определена при помощи G17 (устанавливается при включении устройства), G18, G19.

Инструмент должен позиционироваться к стартовой точке на профиле при помощи линейной интерполяции. Однако первый элемент (кадр) профиля может быть как линейным, так и круговым.

Для отмены компенсации радиуса инструмента необходимо запрограммировать функцию G40.

Действие функций G41, G42 прекращается в первом же кадре движения после кадра с функцией G40.

При программировании профиля с компенсацией радиуса инструмента следует помнить, что:

1) первое перемещение должно быть линейным, т. е. на быстром ходу или при скорости обработки (G00- G01);

2) блоки с функциями M, S и T не могут программироваться внутри области кадров, на которую распространяется действие функций G41 и G 42;

3) профиль может обрабатываться в непрерывном режиме (G27- G28) или в режиме «от точки к точке» (G29), в автоматическом или кадровом режиме;

4) на первой и последней точке профиля центр инструмента позиционируется перпендикулярно профилю на программируемой точке.

Следовательно, траектория перемещений инструмента и УП примут вид (рис. 7.12):

N1 T1.1 M6

N2 S1100 F95 M13

N3 Z-3

N5 G41 X-16 Y4

N6 ;так как инструмент находится слева от контура используем G41

N7 G3 X0 Y20 R16

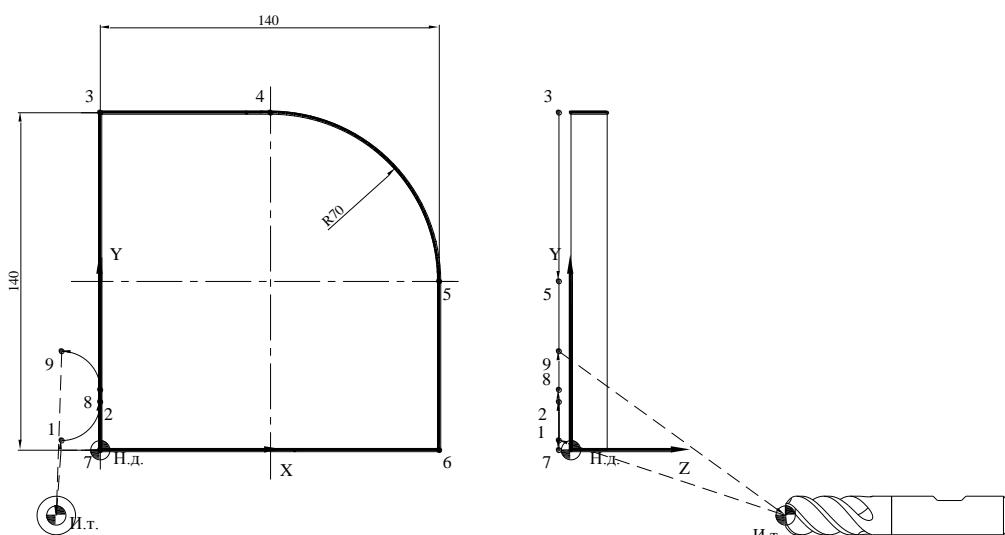


Рис. 7.12. Пример траектории перемещения инструмента с использованием функции коррекции инструмента

N8 G1 Y140

N9 X70

N10 G2 X140 Y70 R70

N11 G1 Y0

N12 X0

N13 Y22

N14 G40 G3 X-16 Y38 R16

N15 G X-20 Y-25 Z50

N16 M30

### 7.7.3.2. Особенности программирования контуров при фрезерной обработке

При перемещении из точки 2 в точку 3 (рис. 7.19) будет наблюдаться отрыв инструмента от обрабатываемой заготовки детали (рис. 7.13), а при последующем перемещении в точку 4 инструмент повторно осуществляет врезание на глубину припуска. При этом врезание осуществляется в жестком режиме. Все это приводит к снижению стойкости инструмента, а также, вследствие деформации инструмента и детали, к появлению «недорезов» на обрабатываемой поверхности (рис. 7.14).

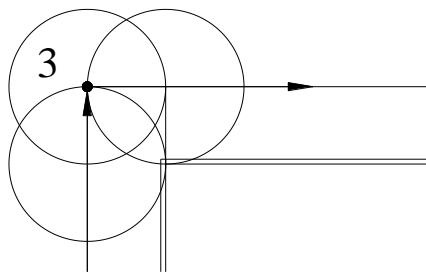


Рис. 7.13. Схема отрыва и врезания инструмента при фрезеровании контура заготовки детали

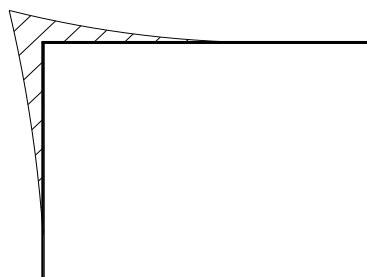


Рис. 7.14. Схема формирования «недореза» на поверхности заготовки детали

Поэтому для всех участков траектории, где изменение направления движения инструмента превышает  $180^\circ$ , выполняют сопряжение контура (рис. 7.15). Сопряжение осуществляется путем перемещения инструмента по дуге окружности радиусом, равным

радиусу инструмента, и центром, расположенным в точке излома контура. Точки начала и конца дуги сопряжения определяются следующим образом: из точки излома контура строятся два перпендикуляра к сопрягаемым поверхностям, точки пересечения перпендикуляров и эквидистанты являются началом и концом дуги сопряжения.

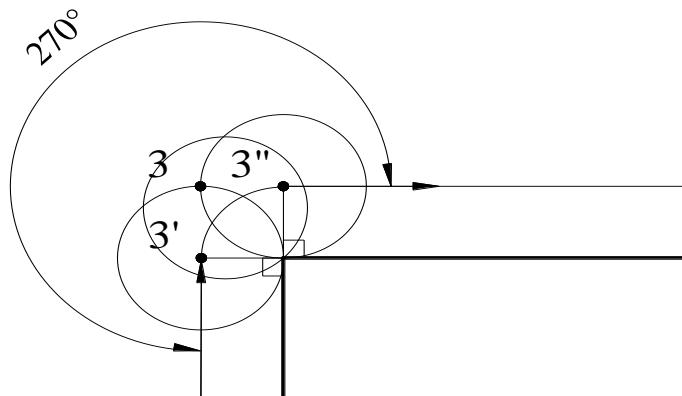


Рис. 7.15. Сопряжение контура

При такой траектории перемещения инструмент постоянно касается детали, обеспечивая исключение появления «Недорезов».

Система ЧПУ NC-201 позволяет автоматически выполнять скругления, сопряжения контура и скосы. Скругления выполняются программированием адреса  $r$ , скосы –  $b$ .

При программировании выпуклого пути перемещением против часовой стрелки радиус  $r$ , связывающий линии, должен иметь положительную величину; при перемещении по часовой стрелке программируется отрицательный радиус. Радиус  $r=0$  выполняет сопряжение контура путем генерирования радиуса, равного нулю на детали.

Программа по обработке детали (рис. 2.12) с выполнением сопряжений в этом случае примет вид:

N1 T1.1 M6

N2 S1100 F95 M13

N3 Z-3

N5 G41 X-16 Y4

N6 ;так как инструмент находится слева от контура, используем G41

N7 G3 X0 Y20 R16

N8 G1 Y140

N9 r0

N10 X70

N11 G2 X140 Y70 R70

N12 G1 Y0

N13 r0

N14 X0

N15 r0

N16 Y22

N17 G40 G3 X-16 Y38 R16

N18 G X-20 Y-25 Z50

N19 M30

Скос программируется как расстояние от точки пересечения между линиями (рис. 7.16).

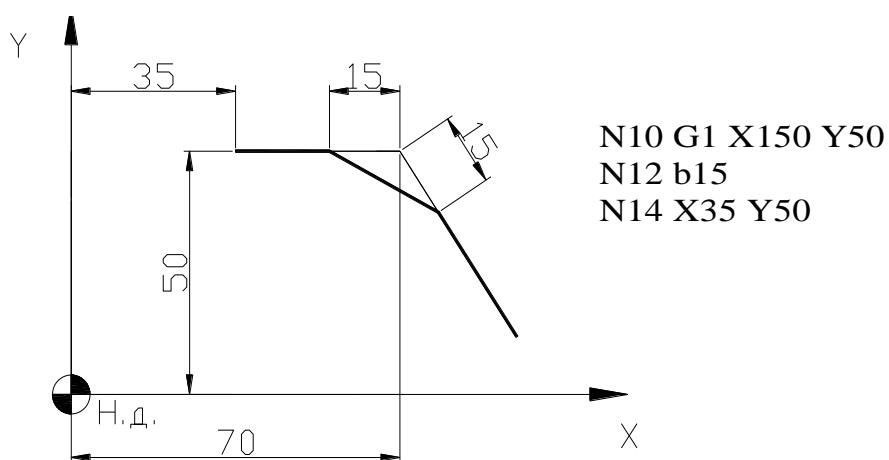


Рис. 7.16. Пример программирования скоса (фаски) на поверхности заготовки

Кодом UOV можно определить припуск в операциях контурной обработки. Заданный в программе или введенный с клавиатуры код UOV временно модифицирует значение корректировки на величину, равную установленному значению.

Пример: UOV=1,5 – при обработке будет оставлен припуск в 1,5 мм на сторону (например, при выполнении получистовой обработки).

## ГЛАВА 8. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ, ОСНАЩЕННЫХ СИСТЕМОЙ FANUC21i

Особенности программирования данной системы ЧПУ можно рассмотреть на примере использования обрабатывающего центра Takisawa EX-308, внешний вид которого представлен на рис. 8.1, а технические характеристики в табл. 8.1.



Рис. 8.1. Фотография обрабатывающего центра Takisawa EX-308

Станок используется в мелкосерийном и серийном производстве с мелкими повторяющимися партиями деталей.

**Таблица 8.1**  
Основные технические характеристики

Характеристики	Значения
Дистанция между центрами, мм	645
Макс. диаметр обработки, мм	260
Макс. длина обработки, мм	530
Скорость шпинделя, об/мин	40-4000
Отверстие шпинделя, мм	63
Ход по оси X, мм	180
Ход по оси Z, мм	530

<b>Характеристики</b>	<b>Значения</b>
Ускоренная подача по X, м/мин	20
Ускоренная подача по Z, м/мин	24
Диаметр расточной оправки, мм	40
Макс. количество инструментов	12
Ход задней бабки, мм	435
Мощность встроенного шпинделя привода, кВт	18,5
Потребляемая мощность, кВА	25
Высота, мм	1970
Длина, мм	2360
Ширина, мм	1745
Вес, кг	4300

## 8.1. КОНФИГУРАЦИЯ ПРОГРАММЫ

Управляющая программа содержит информацию о последовательности перемещений рабочих органов станка, подготовительных, технологических и вспомогательных действий для обработки деталей на станке с ЧПУ. (рис. 8.2). Программа создается в той последовательности, в которой должен перемещаться инструмент.

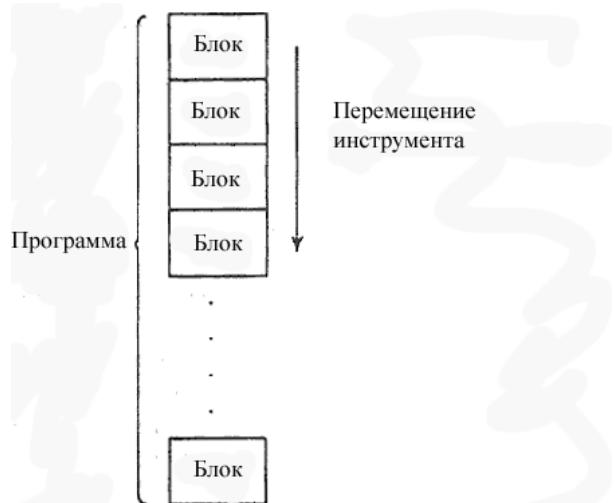


Рис. 8.2. Конфигурация программы

Группа команд на каждой последовательности шагов называется блоком. Программа состоит из групп блоков, создающих последовательность обработки. Число, различающее каждый блок, называется номером в последовательности. Номер, различающий каждую из программ, называется номером программы.

Блок и программа имеют следующую конфигурацию:

1 Блок

N.... G.. X.. Z.. M.. S.. T.. ;

где N - номер последовательности;

S.. - подготовительная функция;

X.. Z.. - размеры;

M. - дополнительная функция;

S.. - функция шпинделя;

T.. - функция инструмента;

; - конец блока.

Блок начинается с номера последовательности, который определяет блок и заканчивается кодом конец блока.

Если необходимо выполнить несколько одинаковых видов обработки в разных местах детали, создается подпрограмма. Она будет вызываться нужное число раз из основной программы. После завершения выполнения подпрограммы, управление будет возвращаться в основную программу после команды вызова подпрограммы.

## 8.2. ЗАДАНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

Перемещение инструмента, определяющее скорость обработки детали, называется подачей (рис. 8.3).



Рис. 8.3. Функция подачи

Скорость подачи указывается с использованием действительных чисел.

Например, следующая команда может использоваться для определения подачи 2 мм на один оборот:

F2.0

Функция определяющая скорость подачи называется функцией подачи.

Функция, при которой скорость инструмента зависит от размеров детали, называется скоростью резания (рис. 8.4). Для ЧПУ скорость резания может указываться скоростью шпинделя в об/мин.

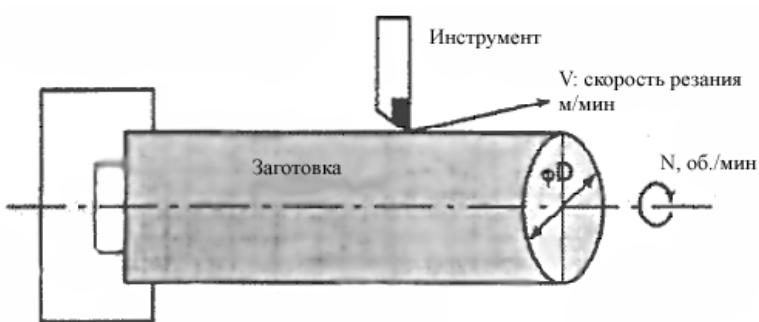


Рис. 8.4. Скорость резания

### **Пример:**

Имеется деталь диаметром 200 мм, необходимо провести обработку со скоростью резания 300 м/мин. Скорость шпинделя примерно 478 об/мин, вычисляется по формуле  $N = 1000v/D$ . Необходимо дать следующую команду: S478;

Скорость обработки  $v$  может быть указана явно в м/мин. Даже при изменении диаметра детали скорость обработки останется неизменной. Эта функция называется контроль постоянной скорости обработки поверхности.

Функции подачи контролируют скорость перемещения инструмента. Возможны два типа подачи (рис.8.5):

1. Быстрая подача (с помощью команды G00 инструмент перемещается с максимальной скоростью).
2. Подача обработки (инструмент перемещается с запрограммированной скоростью подачи).

Для предотвращения механического сотрясения, применяется автоматическое ускорение/ торможение в начале и конце перемещения.

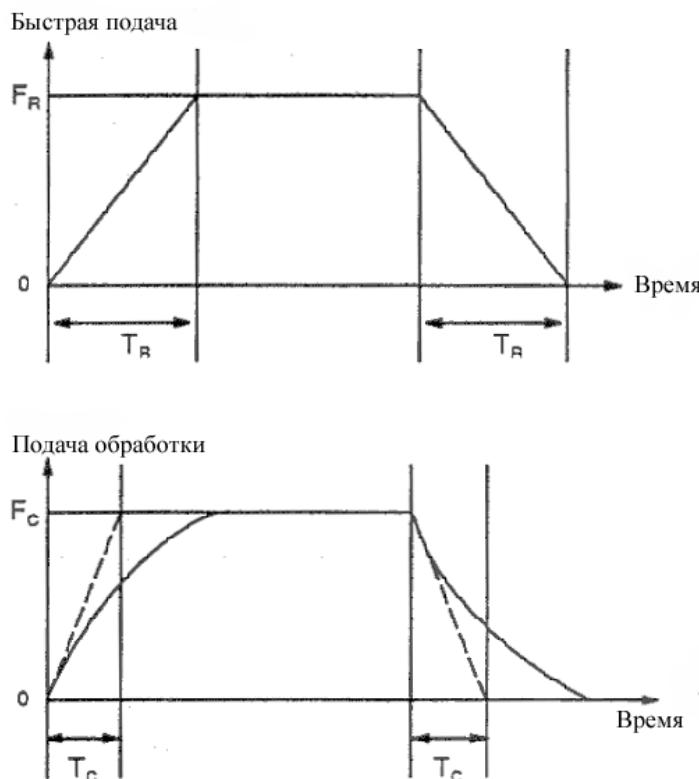


Рис. 8.5. Автоматическое ускорение/торможение  
( $F_R$  - Быстрая подача , $F_c$  - Подача обработки  $T_R$ ,  $T_c$  - Ускорение / торможение)

### 8.3. ФУНКЦИЯ ИНСТРУМЕНТА (T ФУНКЦИЯ)

Функция T является функцией управления инструментом.

В блоке может находиться только один T код. Если в блоке перемещения запрограммирован T код, команда выполняется одним из следующих способов:

1. Одновременное выполнение перемещения и T команды.
2. Выполнение T команды после выполнения перемещения.

Значение после T кода обозначает нужный инструмент. Часть числа используется для определения номера оффсета для указания величины компенсации инструмента.

**Пример:**

N1G00X100Z1400

*N2T0313; (Инструмент 3, офсет 13)  
N3X400Z1050;*

Некоторые станки используют одну цифру для определения инструмента.

Инструменты классифицированы в несколько групп. Для каждой группы указано максимальное время работы инструмента. Каждый используемый инструмент, отработавший это время, будет заменен на другой предварительно назначенный инструмент из этой группы.

При двухлинейном контроле инструмента, для каждой стороны производится отдельный контроль. Измерение времени работы также производится для каждой стороны.

Инструмент используется последовательно для каждой группы и для каждого регистрируется время работы в ЧПУ следующим форматом таблицы:

**Таблица 8.2**

**Формат программы управления инструмента**

<b>Формат</b>	<b>Значение</b>
O____;	Номер программы
G10L3;	Начало установки данных инструмента
P___ L___;	P___: Номер группы (1 – 128)
T____;	L___; Время работы инструмента (1 – 9999)
T____;	1) T__ Номер инструмента
.	2) T__ Номер инструмента
.	
P___ L___;	Данные для следующей группы
T____;	
T____;	
.	
.	
G11;	Конец данных
M02(M30);	Конец программы

Один номер инструмента может указываться любое число раз в программе определения времени использования инструмента.

## 8.4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ

Существует два типа вспомогательных функций: вспомогательные М функции и вспомогательные функции В кода.

Если указана команда перемещения и вспомогательная функция в одном блоке, команда выполняется в одной из двух следующих последовательностей:

1. Одновременное выполнение перемещения и вспомогательной функции
2. Выполнение вспомогательной функции после выполнения перемещения.

Последовательность операции определяется производителем станка.

М функция указывается с номером после адреса М. При программировании М функции, код сигнала и прямой сигнал передается в станок. Эти сигналы используются для включения питания станка.

Как правило, только один М-код может использоваться в блоке, но запрограммировать можно до трех М-кодов (некоторые станки это не позволяют). Соответствие М-кода и функции определяется производителем станка.

Все М-коды выполняются станком, за исключением M98, M99, M198, М-кодов вызова подпрограммы (параметры 6071 – 6079), и М-кода вызова произвольного макроса (параметры 6080 - 6089). См. документацию производителя станка.

Следующие М-коды имеют специальное значение:

- **M02, M03** (конец программы). Обозначает конец основной программы, ЧПУ производит сброс. Команды могут отличаться на разных станках. После программирования блока производится завершение программы, ЧПУ переходит в начало программы. Бит 5 параметра 3404 (M02) или бит 4 параметра 3404 (M03) может использоваться для отключения M02 или M03 возврата ЧПУ в начало программы.

- **M00 (остановка программы).** Автоматическая работа останавливается после блока содержащего M00. Когда программа остановилась, все существующие модальные состояния функции остаются неизменными. Автоматическая работа может быть

возобновлена запуском цикла. Поведение команды может отличаться на разных станках.

- **M01 (Опциональная остановка)** Похоже на M00, но автоматическое управление останавливается в блоке содержащем M01 только во включенном режиме «Опциональная остановка».
- **M98 (Вызов подпрограммы)** Этот код используется для вызова подпрограммы. Код и сигнал не посылаются.
- **M99 (Конец подпрограммы)** Этот код обозначает конец подпрограммы, управление передается основной программе. Код и сигнал не посылаются.
- **M198 (Вызов подпрограммы)** Этот код используется для вызова подпрограммы из внешнего файла. Код и сигнал не посылаются.

В данной СЧПУ возможно использование до трех М-команд в блоке, это может быть включено битом 7 (M3B) параметра 3403 установленным в 1.

При указании трех М-кодов в блоке, на станок подается три сигнала одновременно. Это означает, что эти команды могут быть выполнены за меньшее время.

ЧПУ позволяет указывать до трех М-кодов в блоке. Тем не менее, некоторые М-коды не могут находиться в одном блоке из-за механических ограничений. M00, M01, M02, M30, M98, M99, или M198 не могут находиться в одном блоке.

Некоторые М-коды, отличные от M00, M01, M02, M30, M98, M99 и M198 не могут быть указаны вместе с другими кодами: каждые из этих блоков должны находиться в отдельном блоке.

Эти М-коды используются для выполнения внутренних операций ЧПУ вместо посылки команд станку. Для указания этих М-кодов и М-кодов вызова программ с номером 9001 – 9009 и М-коды отключающие буфферизирование, должны находиться в отдельных блоках. Тем не менее, М-коды, предназначенные только для выдачи сигнала из ЧПУ в станок, могут быть указаны в одном блоке.

### *Пример*

```
M40;
M50;
M60;
G28G9X0Z0;
M40M50M60;
```

G28G91X0Z0;

## 8.5. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ (G ФУНКЦИИ)

Номер следующий после буквы G определяет функция команды для данного блока. G-коды делятся на два типа:

- не модальные – G-код эффективен только в данном блоке;
- модальные – G-код эффективен в других блоках той же группы

### *Пример*

*G01 и G00 модальные G-коды*

*G01 X\_;*    \  
*Z\_;*       / *G-код эффективен в этих блоках*  
*X\_;*       /  
*G00Z\_;*

Существует три системы G кодов: А, В, и С (табл. 8.3). Система G-кодов выбирается битом 6 (GSB) и 7 (GSC) параметра 3401.

**Таблица 8.3**  
**Система G-кодов**

G код			Группа	Функция
A	B	C		
*G00	*G00	*G00	01	Быстрое перемещение
G01	G01	G01		Линейная интерполяция, по час. стр.
G02	G02	G02		Круговая интерполяция, по час. стр.
G03	G03	G03		Круговая интерполяция, против час. стр.
G04	G04	G04	00	Задержка
G05	G05	G05		Высокоскоростная обработка
G07	G07	G07	00	Интерполирование гипотетической оси
G07.1 (G107)	G07.1 (G107)	G07.1 (G107)	00	Цилиндрическая интерполяция
*G10	G10	G10		Программируемый ввод данных
G11	G11	G11		Отмена программируемого ввода данных
G12.1 (G112)	G12.1 (G112)	G12.1 (G112)	21	Режим интерполирования полярных координат
*G13.1 (G113)	*G13.1 (G113)	*G13.1 (G113)		Отмена режимы интерполирования полярных координат

## Продолжение табл. 8.3

<i>G</i> код			Группа	Функция
A	B	C		
G17	G17	G17	16	Выбор плоскости XY
*G18	*G18	*G18		Выбор плоскости ZX
G19	G19	G19	16	Выбор плоскости YZ
G20	G20	G70	06	Ввод в дюймах
G21	G21	G71		Ввод в миллиметрах
*G22	*G22	*G22	09	Включение функции сохранения величины хода
G23	G23	G23		Выключение функции сохранения величины хода
*G25	*G25	*G25	08	Выключение определения колебания скорости шпинделя
G26	G26	G26		Включение определения колебания скорости шпинделя
G27	G27	G27	00	Проверка возврата в позицию ссылки
G28	G28	G28		Возврат в позицию ссылки
G30	G30	G30		Возврат в позицию ссылки 2й, 3й и 4й оси
G31	G31	G31		Функция пропуска
G32	G32	G32	01	Нарезание резьбы
G34	G34	G34		Резьбы с изменяемым шагом
G36	G36	G36	00	Автоматическая компенсация инструмента по X
G37	G37	G37		Автоматическая компенсация инструмента по Z
*G40	*G40	*G40	07	Отмена компенсации радиуса кромки инструмента
G41	G41	G41		Левая компенсация радиуса кромки инструмента
G42	G42	G42		Правая компенсация радиуса кромки инструмента
G50	G92	G92	00	Установка системы координат или установка макс. скорости шпинд.
G50.3	G92.1	G92.1		Установка системы координат детали
*G50.2 (G250)	*G50.2 (G250)	*G50.2 (G250)	20	Отмена многоугольного вращения
G51.2 (G251)	G51.2 (G251)	G51.2 (G251)		Многоугольное вращение

## Продолжение табл. 8.3

G код			Группа	Функция
A	B	C		
G52	G52	G52	00 14	Установка локальной системы координат
G53	G53	G53		Установка системы координат станка
*G54	*G54	*G54		Установка системы координат детали 1
G55	G55	G55		Установка системы координат детали 2
G56	G56	G56		Установка системы координат детали 3
G57	G57	G57		Установка системы координат детали 4
G58	G58	G58		Установка системы координат детали 5
G59	G59	G59	14	Установка системы координат детали 6
G65	G65	G65	00	Вызов макроса
G66	G66	G66	12	Модальный вызов макроса
*G67	*G67	*G67		Отмена модального вызова макроса
G68	G68	G68	04	Включение зеркального отображения двойной револьверной головки или режим балансированной обработки
*G69	*G69	*G69		Выключение зеркального отображения двойной револьверной головки или режим балансированной обработки
G70	G70	G72		Чистовая обработка
G71	G71	G73		Снятие фаски с диаметра
G72	G72	G74		Снятие фаски с торца
G73	G73	G75		Повторение шаблона
G74	G74	G76		Торцевое многопроходное сверление
G75	G75	G77	00	Сверление по внешнему/внутреннему диаметру
G76	G76	G78		Множественное нарезание резьбы
*G80	*G80	*G80		Отмена вложенного цикла сверления
G83	G83	G83		Цикл торцевого сверления
G84	G84	G84		Цикл торцевого нарезания резьбы
G86	G86	G86		Цикл торцевой расточки
G87	G87	G87		Цикл бокового сверления
G88	G88	G88	10	Цикл бокового нарезания резьбы
G89	G89	G89		Цикл боковой расточки
G90	G77	G20		Цикл обработки внутреннего/внешнего диаметра
G92	G78	G21		Цикл нарезания резьбы
G94	G79	G24		Цикл обработки торца
G96	G96	G96	02	Контроль постоянной скорости резания
*G97	*G97	*G97		Отмена контроля постоянной скорости резания
G98	G94	G94	05	Подача в минуту

Окончание табл. 8.3

G код			Группа	Функция	
A	B	C			
*G99	*G95	*G95		Подача на оборот	
-	*G90	*G90	03	Программирование координат	Абсолютных
-	G91	G91		Программирование координат	относительных
-	G98	G98		Возврат в исходный уровень	
-	G99	G99	11	Возврат в исходный уровень точки R	

## 8.6. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИНСТРУМЕНТА

### 8.6.1. Позиционирование (G00)

Команда G00 перемещает инструмент в указанную позицию в системе координат детали с абсолютными или относительными координатами с быстрой подачей.

При программировании абсолютных координат, указывается конечная точка (рис. 8.6). В относительных координатах указывается расстояние перемещения инструмента.

*Формат:*

*G00IP\_;*

IP-для абсолютных координат указывается конечная точка. Для относительных координат расстояние перемещения инструмента.

Возможны следующие траектории перемещения инструмента:

- нелинейное интерполирование позиционирования- инструмент позиционируется с быстрой подачей для каждой оси отдельно, траектория инструмента обычно прямая;

- линейное интерполирование позиционирования- траектория инструмента такая же как и при использовании команды G01, инструмент позиционируется по кратчайшей траектории с максимальной скоростью для каждой оси.

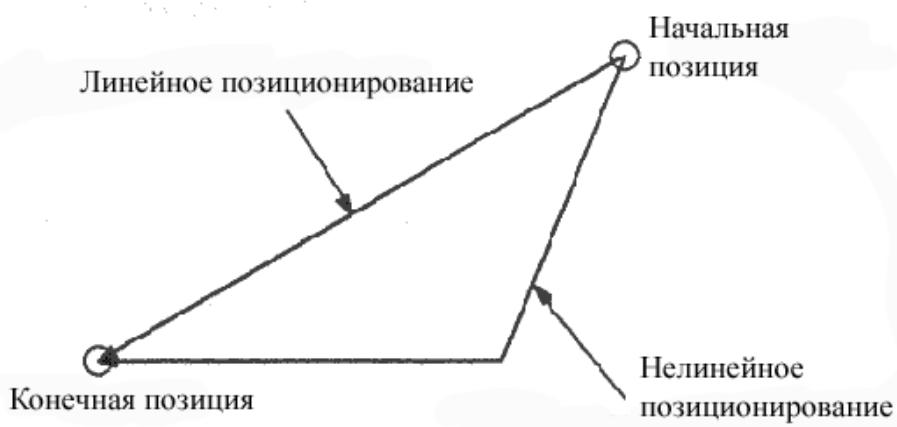


Рис.8.6. Траектории перемещения инструмента

Скорость перемещения быстрой подачи в команде G00 определяется для каждой оси отдельно производителем станка. В режиме позиционирования G00 инструмент ускоряется с заданной скоростью в начале и в конце блока. Исполнение продолжается до следующего блока после подтверждения позиционирования.

### 8.6.2. Линейное интерполярование (G01)

Перемещение инструмента по прямой.

**Формат:**

*G00IP\_F\_;*

*IP\_* - для абсолютных координат указывается конечная точка. Для относительных координат расстояние перемещения инструмента.

*F\_* Скорость подачи инструмента.

Инструмент перемещается по прямой линии в указанную позицию со скоростью подачи указанной в F (рис. 8.7). Эта скорость подачи остается эффективной в последующих блоках пока не будет запрограммировано новое значение F. Скорость подачи измеряется по линии перемещения инструмента.

**Примеры:**

*G01X40.0Z20.1F20;* (абсолютное позиционирование)

или

*G01U20.0W-25.9F20;* (относительное позиционирование)

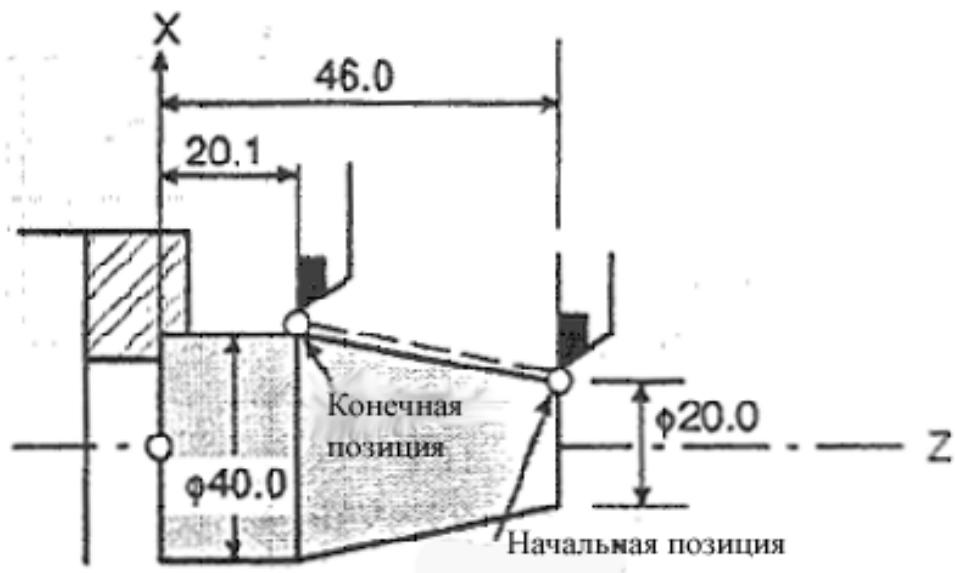


Рис. 8.7. Программирование радиуса

### 8.6.3. Круговая интерполяция (G02, G03)

Круговая интерполяция – это перемещение инструмента по дуге. Описание формата команды представлено в таблице 8.4.

**Формат:**

Дуга в плоскости XpYp:

G17 {G02 или G03} Xp\_Yp\_ {I\_J\_ или R\_} F\_

Дуга в плоскости ZpXp:

G18 {G02 или G03} Zp\_Xp\_ {I\_K\_ или R\_} F\_

Дуга в плоскости YpFp:

G19 {G02 или G03} Yp\_Zp\_ {J\_K\_ или R\_} F\_

**Таблица 8.4**

Описание формата команды

Команда	Описание
G17	Определение плоскости XpYp
G18	Определение плоскости ZpXp
G19	Определение плоскости YpZp
G02	Круговая интерполяция по часовой стрелке
G03	Круговая интерполяция против часовой стрелки
Xp_	Значение координаты по оси X или параллельной оси (устанавливается в параметре 1022)
Xp_	Значение координаты по оси Y или параллельной оси (устанавливается в параметре 1022)

Команда	Описание
Xp_	Значение координаты по оси Z или параллельной оси (устанавливается в параметре 1022)
I_	Относительное расстояние по Xp от начальной точки до центра дуги, значение радиуса
J_	Относительное расстояние по Yp от начальной точки до центра дуги, значение радиуса
K_	Относительное расстояние по Zp от начальной точки до центра дуги, значение радиуса
R_	Радиус дуги без знака (значение радиуса всегда указывается)
F_	Скорость подачи по дуге

Оси U, V, W (параллельные основным осям) могут использоваться с G кодами B и C.

Направление круговой интерполяции. «По часовой стрелке» (G02) и «против часовой стрелки» (G03) в плоскости XpYp (ZpXp или YpZp) определяет направление в плоскости XpYp если смотреть в направлении из положительного в отрицательное по оси Zp (Yp или Zp) в декартовой системе координат (рис. 8.8).

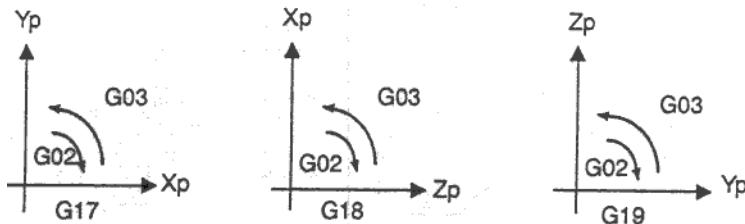


Рис. 8.8. Направление перемещения.

Расстояние перемещения по дуге. Конечная позиция дуги указывается адресами Xp, Yp, Zp и выражается в абсолютных или относительных значениях в соответствии с G90 или G91. Для относительных значений указывается расстояние до конечной точки от начальной точки.

Расстояние от начальной точки до центра дуги. Центр дуги определяется адресами I, J, K для осей Xp, Yp, Zp (рис. 8.9). При задании значений I, J, K необходимо учитывать направление.



Рис. 8.9. Расстояние от начальной точки до центра дуги.

**Программирование полной окружности.** Если пропущено  $X_p$ ,  $Y_p$  и  $Z_p$  (конечная точка является начальной точкой) и центр указанный в  $I$ ,  $J$ ,  $K$ , дуга составляет 360 градусов (окружность).

**Радиус дуги.** Расстояние между дугой и центром дуги состоит из дуги и может быть указано используя радиус  $R$  окружности вместо  $I$ ,  $J$ ,  $K$  (рис. 8.10). В этом случае, одна дуга меньше 180 градусов и другая больше 180 градусов соединяются. Дуга с углом сектора 180 или больше градусов не может быть указана. Если  $X_p$ ,  $Y_p$ ,  $Z_p$  все пропущены, конечная точка находится в начальной точке, и используется  $R$ . Будет построена дуга с градусом 0.

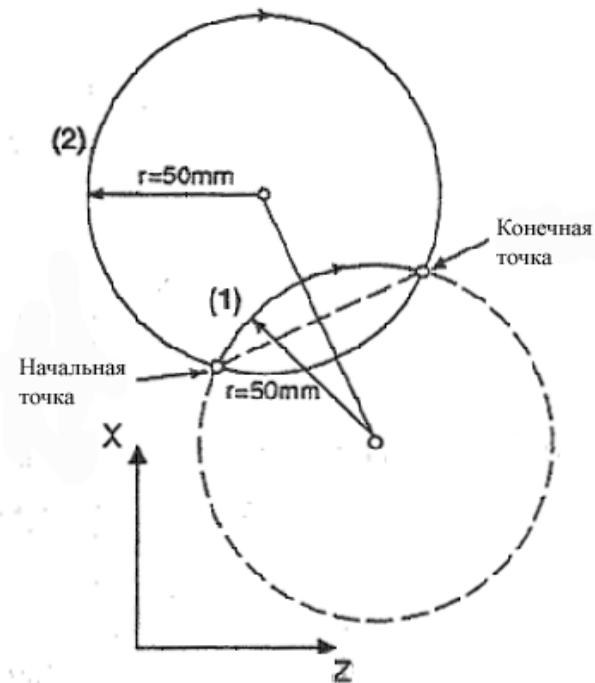


Рис. 8.10. Радиус дуги

**Пример:**

*G02R; (инструмент не перемещается)*

Для дуги (1) меньше 180 градусов:

**G02 W50.0 U10.0 R50.0 F300.0**

Для дуги (2) больше 180 градусов:

Дуга с сектором больше 180 градусов (рис. 8.10) не может быть задана одним блоком.

*Скорость подачи.* Скорость подачи в круговой интерполяции равна скорости подачи указанной в F коде и измеряется по дуге (касательная подача по дуге) (рис. 8.11).

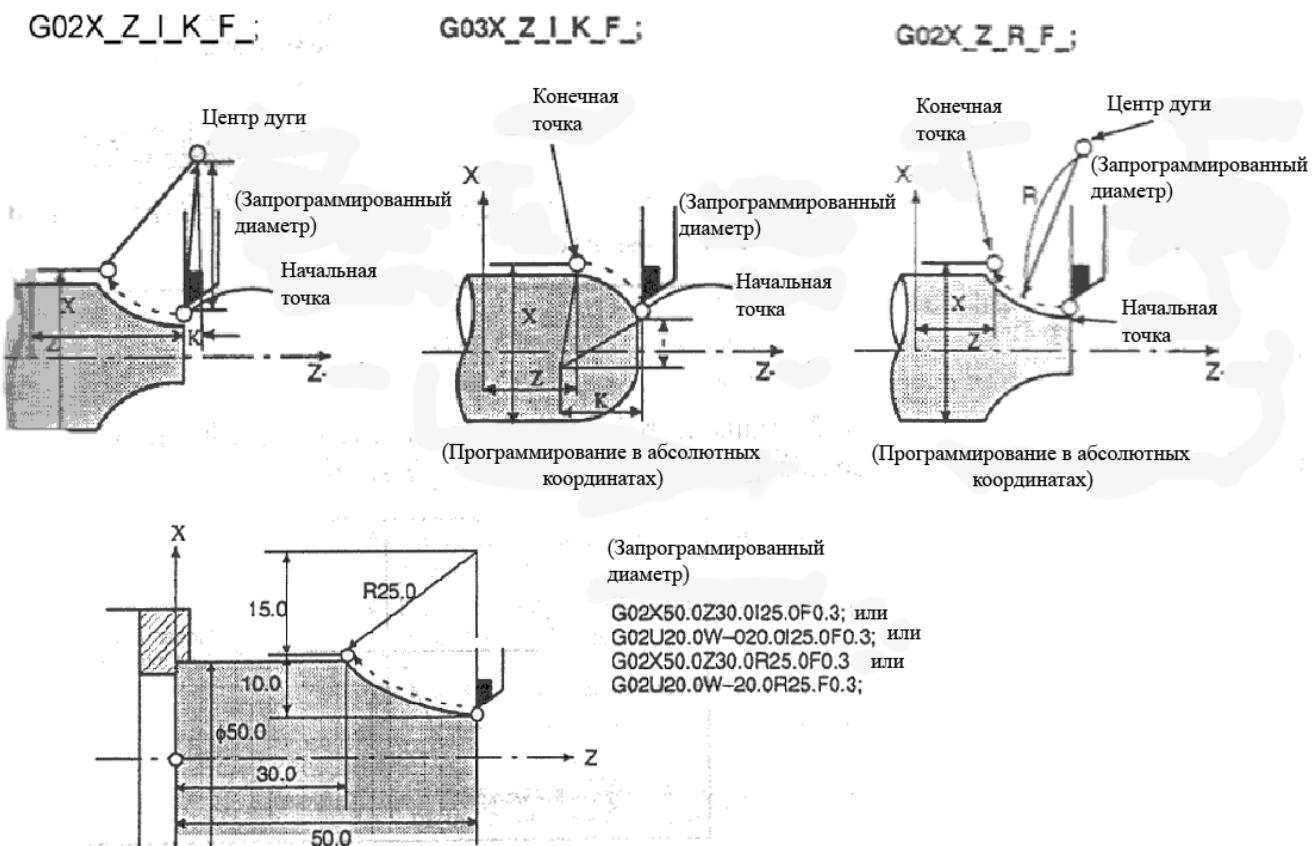


Рис. 8.11. Команда круговой интерполяции X, Z

Погрешность между запрограммированным значением и действительной подачей  $\pm 2\%$  или менее. Так как скорость перемещения измеряется по дуге, используется коррекция кромки инструмента.

Если одновременно указаны адреса I, J, K с R, будет использоваться R. Все остальные адреса игнорируются. Если ось не может находиться в текущей плоскости, появится сигнал тревоги. Например, если указана плоскость ZX в G коде B или C, указание оси X или U (параллельно оси X) вызывает сигнал тревоги 020.

#### 8.6.4. Нарезание резьбы с постоянным шагом (G32)

Командой G32 можно нарезать резьбу с постоянным шагом на конусе и закрученную резьбу (рис. 8.12). Позиция шпинделя считывается из кодировщика позиции шпинделя в режиме реального времени и конвертируется в значение подачи в режиме подачи в минуту, которая используется для перемещения инструмента (рис. 8.13).

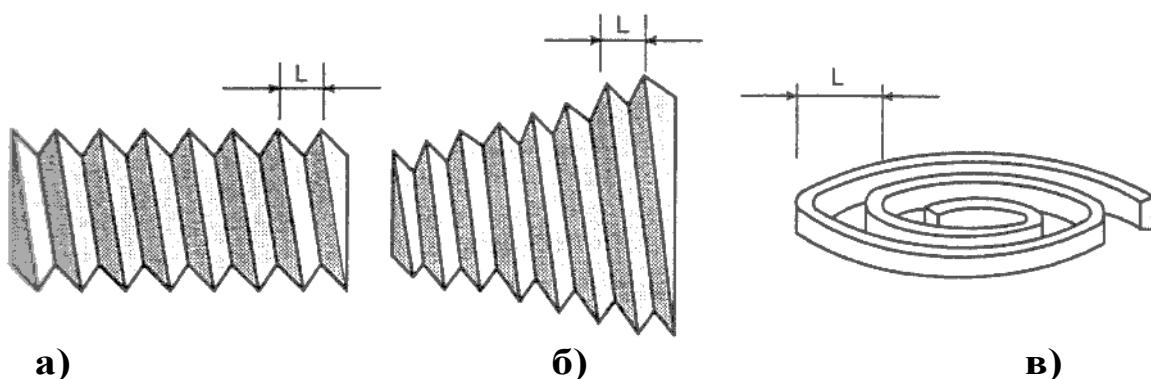


Рис. 8.12 Резьба: а- прямая; б- конусная; в- спиральная

#### Формат:

*G32IP\_F\_*

IP\_- конечная точка;

F\_- шаг продольной резьбы.

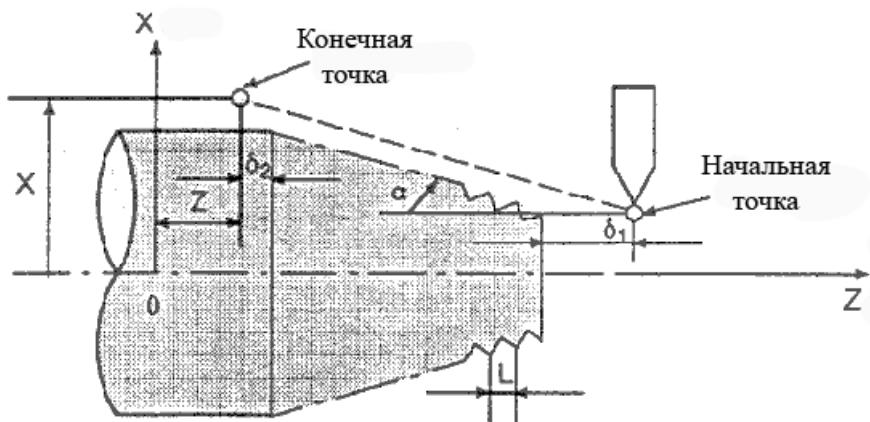


Рис. 8.13. Пример нарезания резьбы.

Обычно, нарезание резьбы повторяется одним инструментом при черновом и чистовом проходе. Нарезание резьбы начинается после того как кодировщик позиции шпинделя выдаст сигнал 1, после этого инструмент начинает перемещаться. Это делается для возможности многократного прохода по одной канавке резьбы. Необходимо помнить, что скорость шпинделя должна оставаться неизменной при черновой и чистовой обработке. В противном случае, резьба будет повреждена.

#### *Примеры:*

##### *1. Нарезание прямой резьбы (рис. 8.14)*

При программировании резьбы с шагом 4 мм используются следующие значения:

$$\delta_1 = 3 \text{ мм}$$

$$\delta_2 = 1.5 \text{ мм}$$

Глубина прохода 1 мм  
(дважды)(метрический  
ввод, программируется  
диаметр)

G00 U-62.0;

G32 W-74.5 F4.0;

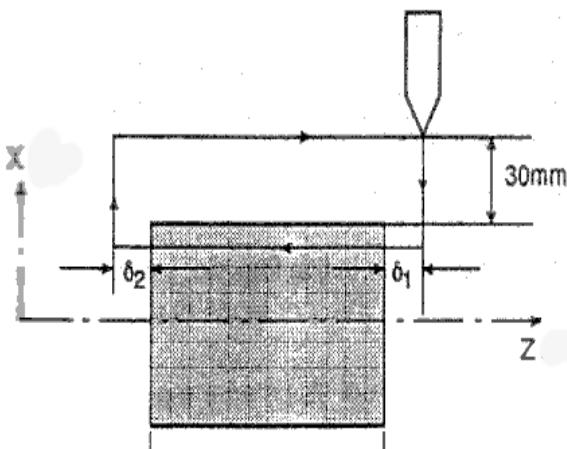
G00 U62.0;

W74.5;

U-64.0;

(для второго прохода на 1 мм  
больше)

G32 W-74.5;

Рис. 8.14. Нарезание прямой  
резьбы

G00 U64.0;  
W74.5;

## 2. Нарезание конусной резьбы (рис. 8.15)

При программировании резьбы с шагом 3.5 мм в направлении оси Z используются следующие значения:

$$\begin{aligned}\delta_1 &= 2 \text{ мм} \\ \delta_2 &= 1 \text{ мм}\end{aligned}$$

Глубина прохода 1 мм (дважды)  
(метрический  
программируется диаметр)

G00 X12.0 Z72.0;  
G32 X41.0 Z29.0 F3.5;  
G00 X50.0;  
Z72.0;  
X10.0;  
(для второго прохода на  
1 мм больше)  
G32 X39.0 Z29.0;  
G00 X50.0;  
Z72.0;

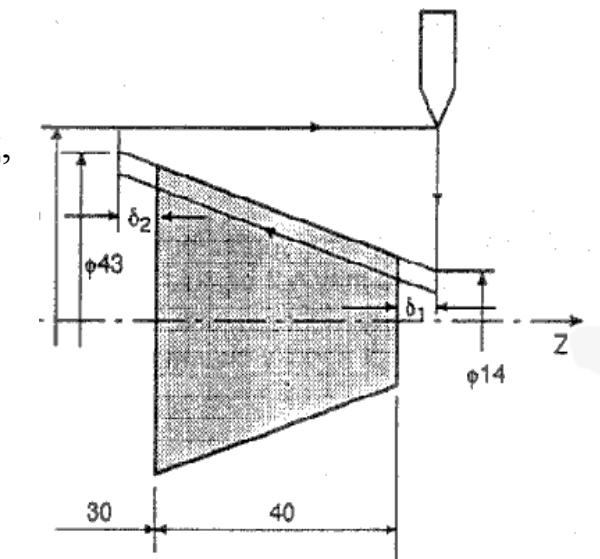


Рис. 8.15. Нарезание конусной  
резьбы

## 8.7. ФУНКЦИЯ ПРОПУСКА (G31)

Функция пропуска используется, если окончание обработки не запрограммировано, а определяется сигналом станка. Например, при шлифовании. Это также используется при измерении размеров детали.

Линейная интерполяция может быть произведена командой G01 после команды G31. Если во время выполнения команды поступит внешний сигнал пропуска, выполнение команды будет прервано и выполнен следующий блок.

**Формат:**

**G31 IP\_**

G31 - не модальный G код.

### Примеры

1. Блок после G31 команда относительного позиционирования (рис. 8.16)

G31 W100.0 F100;  
U50.0

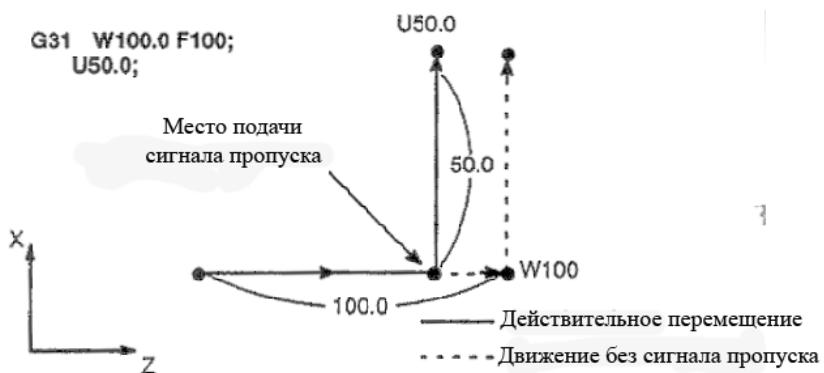


Рис. 8.16. Относительное позиционирование

2. Блок после G31 команда абсолютного позиционирования одной оси (рис. 8.17)

G31 Z200.0 F100;  
X100.0;



Рис. 8.17. Абсолютное позиционирование по одной оси

3. Блок после G31 команда абсолютного позиционирования двух осей(рис. 8.18)

G31 Z200.0 F100;  
X100.0;

G31 G90X200.0 F100;  
X300.0 Z100.0;



Рис. 8.18. Абсолютное позиционирование двух осей

## 8.8. БЫСТРАЯ ПОДАЧА

### Формат:

*G00 IP\_;*

*G00-*. G код (группа 01) позиционирования (быстрая подача);

*IP\_* - конечная позиция.

Команда позиционирования *G00* перемещает инструмент с быстрой подачей, следующий блок выполняется после достижения скорости подачи 0 и сервомотор достигает значения входящего в допустимые пределы, установленные производителем станка.

Для быстрой подачи не нужно программировать скорость подачи.

Скорость подачи при линейном интерполяции (*G01*), круговом интерполяции (*G02, G03*) и т.д. программируется в коде *F*.

Подача обработки работает таким образом, что переход к новому значению подачи производится за наименьшее время.

Возможны два режима подачи:

- 1) **подача в минуту (*G98*)** (после указания *F* укажите значение перемещения инструмента в минуту);
- 2) **подача на оборот (*G99*)** (после *F* укажите значение подачи инструмента на оборот).

*Контроль скорости по касательной*

Контроль скорости производится так, что подача по касательной всегда остается постоянной (рис. 8.19).



Рис. 3.19. Подача по касательной (F)

### 8.8.1. Подача в минуту (G98)

После программирования G98 (в режиме подачи в минуту) (рис. 8.20), значение подачи инструмента в минуту прямо указывается числом после F. G98 является модальным кодом. Код остается активным пока не будет указан G99. После включения питания установлена подача на оборот.

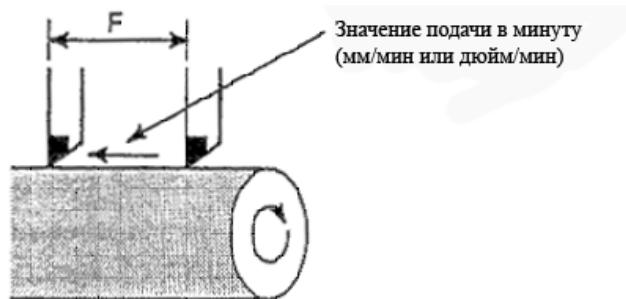


Рис. 8.20. Подача в минуту

### 8.8.2. Подача на оборот (G99)

После программирования G99 (в режиме подачи на оборот) (рис. 8.21), значение подачи инструмента на оборот прямо указывается числом после F. G99 является модальным кодом. Код остается активным пока не будет указан G98.

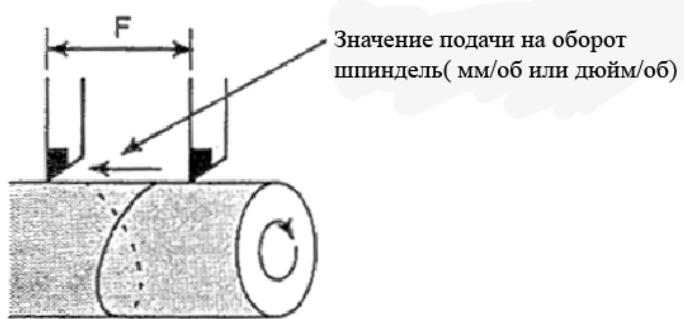


Рис. 8.21. Подача на оборот

Если скорость шпинделя слишком маленькая, возможно отклонение скорости подачи. Чем меньше скорость, тем больше возможная погрешность.

## 8.9. ФУНКЦИЯ КОМПЕНСАЦИИ

Обычно, для обработки одной детали используется несколько инструментов. Каждый инструмент имеет свои длины (рис. 8.22). Очень проблематично изменять программу под размеры каждого инструмента. Поэтому, длина каждого инструмента должна быть измерена. Эта длина будет учтена при обработке детали. При обнаружении несоответствия реальной длины инструмента с заданной длиной, программа может быть выполнена без изменений, даже без необходимости смены инструмента. Разница размера инструмента вносится в ЧПУ и учитывается при обработке. Эта функция называется компенсацией длины инструмента (оффсет длины).

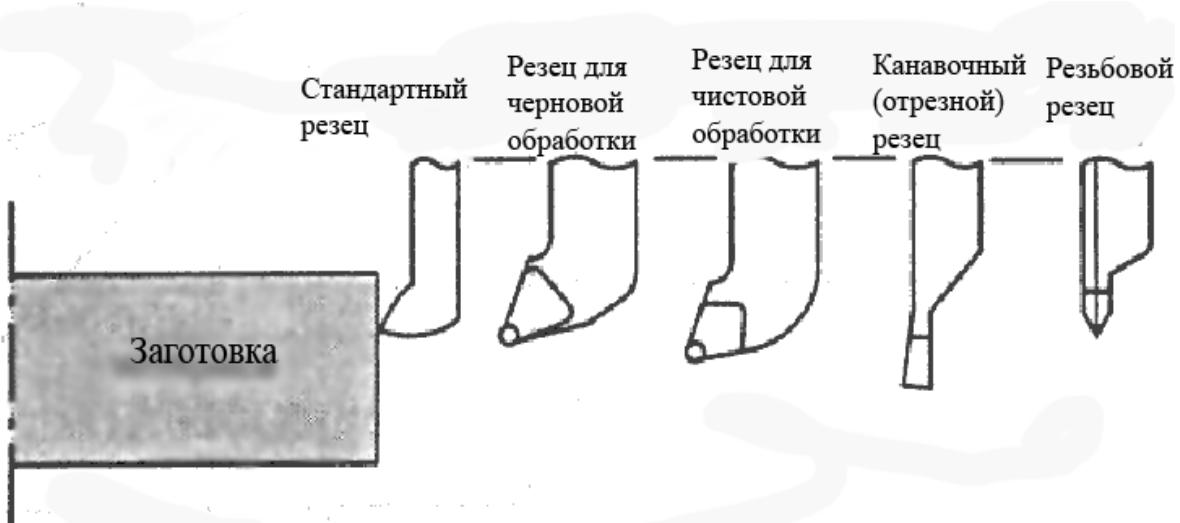


Рис. 8.22. Офсет инструмента

### Область перемещения инструмента – величина хода

На концах каждой оси установлены ограничители крайнего положения (рис.8.23). Это предотвращает выход инструмента за пределы разрешенной области перемещения. Область, в которой может перемещаться инструмент, называется величиной хода.

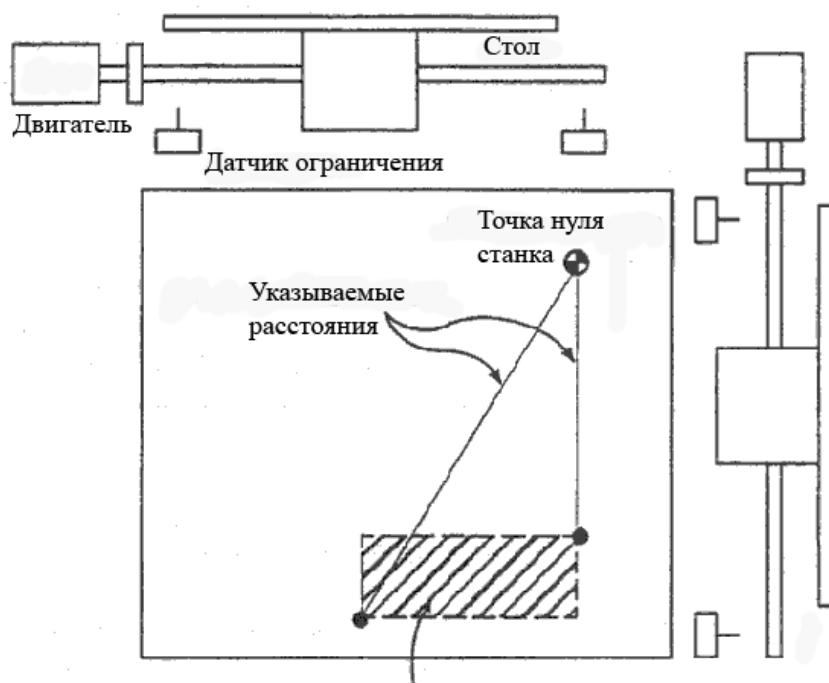


Рис. 8.23. Область перемещения инструмента

Помимо физического ограничения величины хода, могут быть определены программные области ограничения, в которые инструмент не может войти. Эта функция называется проверка величины хода.

## ГЛАВА 9. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАНКОВ С ЧПУ

В настоящее время на предприятиях формируются следующие основные направления работ по автоматизации технологической подготовки производства (ТПП):

- автоматизация проектирования техпроцессов, управляющих программ для станков с ЧПУ и технологической оснастки;
- визуализация и верификация процессов автоматизированной (автоматической) обработки;
- автоматизация процедуры подготовки и наладки инструмента, инструментальных магазинов и настройки инструмента;
- внедрение систем распределенного управления станками с ЧПУ;
- автоматизация процессов контроля качества и обработки результатов испытаний.

Наиболее активно новые технологии внедряются в механообрабатывающем производстве, где они обладают наибольшим потенциалом повышения технологической гибкости и эффективности производства при освоении новых изделий.

В условиях дефицита кадров в технологических службах одним из перспективных направлений кадровой политики предприятий является понижение требуемого уровня квалификации специалистов, занятых проектированием и нормированием технологических процессов, путем применения систем автоматизации технологического проектирования, способных сохранять и накапливать знания об изделиях, технологических процессах и создаваемых средствах технологического оснащения. При этом появляется возможность приема на работу молодых специалистов, не имеющих соответствующего опыта в технологические отделы.

Интеграция программных средств для конструкторско-технологической подготовки производства проводится по трем основным направлениям:

- интеграция конструкторских САПР;
- интеграция технологических САПР;
- интеграция САПР с системами PDM.

Наиболее трудно поддаются интеграции системы собственной разработки, так как они часто имеют устаревшую файловую структуру данных и ряд других недостатков. Так называемые, профессиональные системы, более приспособлены к решению интеграционных задач, однако их способность к интеграции, как и функциональные возможности, в целом существенно отличаются друг от друга.

Большую актуальность имеет, прежде всего, автоматизация ТПП механообрабатывающего производства. Решение этих задач целесообразно совмещать по времени (с некоторым опережением) с внедрением на предприятиях нового высокоэффективного автоматизированного оборудования или проведением его модернизации.

В связи с высокими требованиями к качеству изделий, большие перспективы имеет развитие работ по автоматизации процессов контроля качества. Трудоемкость контрольных операций сложных и ответственных деталей в настоящее время достигает 30% трудоемкости их изготовления.

На рис. 9.1 показаны основные задачи, решаемые при автоматизации технологической подготовки производства на примере механической обработки деталей, а также схема информационного обмена. Представленная информационная модель показывает, что интеграция применяемых программных средств может быть разделена на два направления, а именно интеграция в цикле: «проектирование детали — подготовка производства — изготовление (т.е. интеграция по жизненному циклу)» и интеграция программных средств, применяемых в данном цикле, с корпоративной информационной системой предприятия (КИС) и, прежде всего, с системами управления данными об изделиях (PDM) и ресурсами предприятия (ERP).

Интеграцию по жизненному циклу применительно к техпроцессам размерной, в том числе механической, обработки обеспечивают два типа программных средств: системы автоматизированного проектирования (САПР) и системы распределенного управления станками с ЧПУ.

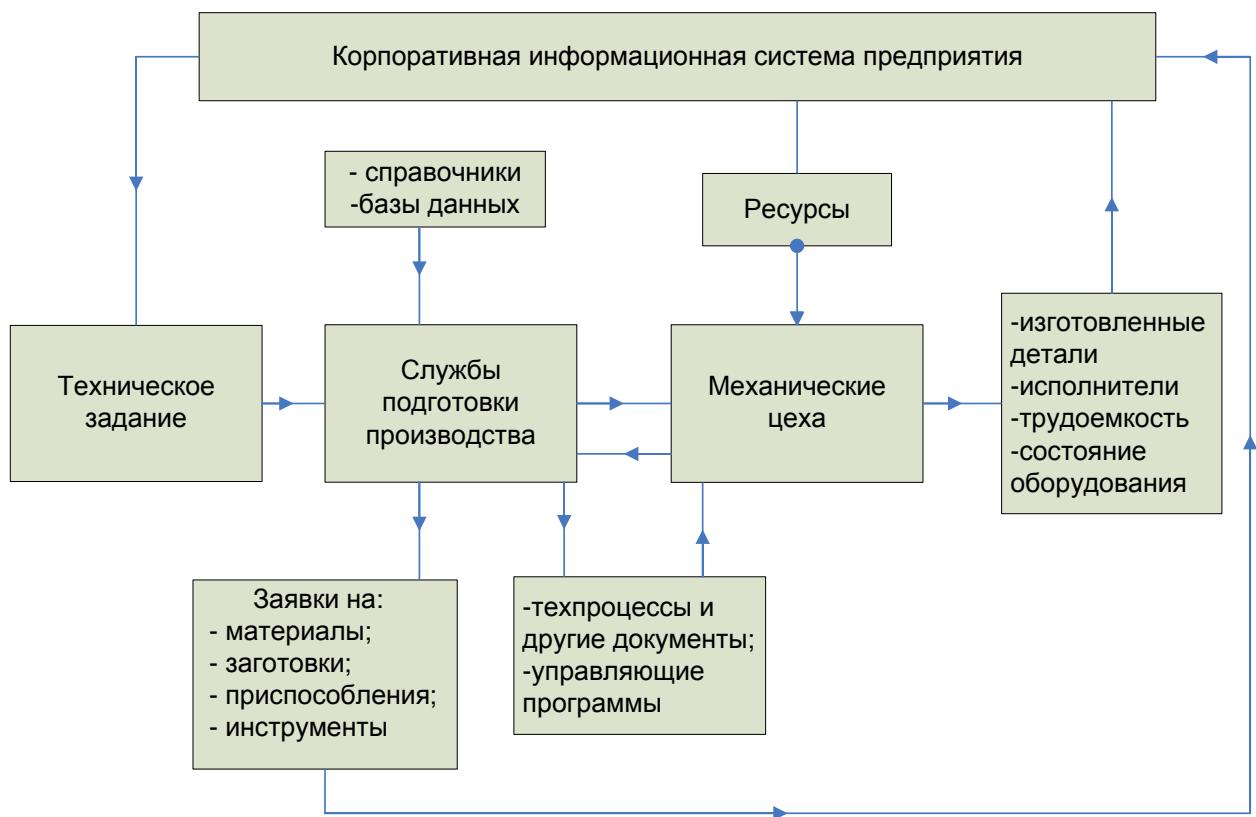


Рис. 9.1. Основные информационные взаимосвязи механических цехов и служб подготовки производства с корпоративной информационной системой.

Анализ отечественного рынка САПР показывает, что в развитии программных средств, применяемых для автоматизированного проектирования технологических процессов и решения других задач автоматизации технологической подготовки производства, прослеживается тенденция создания комплексных решений, которые позволяют выполнять широкий круг задач на одной информационной основе.

Именно по этому пути идут такие известные отечественные поставщики программных средств, как АСКОН, «АДЕМ» и «Топ Системы». Указанные интегрированные комплексы программных средств могут работать и с использованием программных продуктов зарубежных разработчиков, таких как Unigraphics и Solid Edge (Siemens, ФРГ), SolidWorks (SolidWorks Corp., США), Pro/ENGINEER (PTC, США), AutoCAD, Mechanical Desktop, Inventor (Autodesk, США) и др. Однако следует учитывать, что САПР иностранных разработчиков не имеют в своем составе модулей по проектированию технологических процессов, технологических паспортов и другой документации, применяемой при подготовке производства на

предприятиях отрасли. Использование единой информационной модели изделия в интегрированной системе CAD/CAE/CAM дает возможность инженерам-технологам начинать разработку техпроцессов, оснастки и управляющих программ для оборудования с ЧПУ, не дожидаясь окончательного завершения этапа конструкторского проектирования. Конструкторы еще не закончили работу со сборкой, а технологи уже работают над разработкой техпроцессов изготовления составляющих ее деталей, при необходимости поправляя возможные ошибки конструкторов (т.е. отрабатывают конструкторскую документацию на технологичность, как это предусмотрено отраслевыми директивными документами). Это значительно сокращает время и средства, затрачиваемые на проектные работы и отработку новых изделий, а также позволяет оптимально использовать коллективный опыт разработчиков.

Другим важным критерием выбора являются функциональные возможности комплекса программных средств по обеспечению эффективного взаимодействия конструкторов и технологов при отработке и подготовке производства изделий. Здесь очень важное значение имеет возможность параметризации проектирования, когда вносимое конструктором в деталь изменение автоматически и без искажений проводится по всем уже подготовленным документам, включая управляющие программы для станков с ЧПУ. Интегрированные САПР позволяют организовать совместную работу конструкторов и технологов наиболее эффективно.

## **9.1. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САМ-СИСТЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УП**

Современные САМ – системы (computer-aided manufacturing – автоматизированное производство) позволяют осуществить автоматическую разработку УП для конкретного станка на основе геометрической модели, представленной в виде чертежа (токарная обработка) или трехмерной твердотельной или каркасной модели (все виды обработки).

Несмотря на то, что возможности и «внешний вид» САМ–систем отличаются друг от друга, все же есть общее, что их

объединяет – это методология их использования. Сначала программист должен ввести общую информацию. Затем нужно описать параметры заготовки, а также рабочего места (приспособление для крепежа, инструмент). Наконец, необходимо определить последовательность обработки. В общем случае последовательность действий при разработке УП с помощью САМ – системы можно представить в виде следующих шагов [32]:

*Шаг 1: общая информация.* На этом шаге от программиста потребуется ввод информации о наименовании детали, ее шифра, даты генерации и имени управляющей программы. Нередко на этом шаге задаются габариты детали и размер экрана дисплея для того, чтобы настроить автоматическое масштабирование. Как правило, на этом этапе вводится информация о материале и форме заготовки.

*Шаг 2: определение геометрии.* Используя ряд методов определения разобщенной геометрии, программист постепенно описывает форму обрабатываемой детали. В САМ-системах с графическим вводом программист к тому же увидит на экране каждый элемент геометрии. Он имеет возможность выбора наиболее подходящего способа для построения разобщенной геометрии, служащей задаче описания формы обрабатываемой детали.

*Шаг 3: формирование строки обхода.* Большинство САМ-систем допускают импортирование геометрии детали, спроектированной в CAD-системе. Это особенно полезно в случае деталей сложной формы, в этом случае технологу не нужно тратить усилия на повторное описание сложной геометрии. Однако имеются четыре немаловажных замечания, которые «портят» идеалистическую картину «сквозного проектирования-изготовления».

Во-первых, все элементы чертежа, созданного в CAD-системе, должны быть выполнены строго в одном масштабе. Известна практика подгонки отдельных размеров конструктором только для того, что бы сделать качественную прорисовку чертежа или просто ускорить черчение. Например, выбран масштаб 1:10. Конструкторы знают, что в этом случае мелкие детали чертежа будут не видны на прорисовке. Значит, надо изобразить мелкий элемент размером 1 мм как 10 мм. А размерную линию подписать как 1. В результате у технолога возникнет масса неприятностей и на поиск и коррекцию ошибочного элемента уйдет немало времени.

Во-вторых, из чертежа детали, сделанного конструктором, технологу нужно совсем немного информации. Если в САМ-систему импортируется полный чертеж, то технолог потратит немало времени на то, чтобы удалить лишние элементы геометрии, размеры, штриховки и пр.

В третьих, важно уже в процессе проектирования соблюсти соглашение о местонахождении нулевой точки чертежа. Начало координат чертежа желательно расположить в нижнем левом углу чертежа (за исключением токарной обработки). В этом случае процесс импортирования чертежа в САМ-систему пройдет без проблем. В противном случае, технологу опять потребуется время для устранения проблем.

В четвертых, в большинстве САМ-систем предполагается, что геометрия детали будет описана в некотором формате, наиболее подходящем для программирования обработки. Яркий пример – токарная обработка, когда технологу приходиться повторно рассчитывать весь контур детали вручную, т. к. конструктор не учел в чертеже размерные цепи детали.

Именно поэтому многие пользователи САМ-систем часто приходят к выводу, что проще заново переопределить чертеж в САМ-системе (для простых обрабатываемых деталей), чем импортировать рисунки из CAD-систем. Поскольку обрабатываемые детали становятся все более сложными и весьма трудно переопределить элементы чертежа, способность импортировать геометрию из CAD-системы в САМ-систему становится очень важной проблемой.

*Шаг 4: определите процедуры обработки.* Программист задает в САМ-системе способ обработки детали. САМ-системы предоставляют для этого немалое количество готовых решений. Многие САМ-системы включают интерактивные меню для задания параметров конкретного вида обработки. Программисту остается только ввести параметры, а САМ-система сама рассчитает траекторию обработки.

На этом шаге САМ-система визуализирует траекторию инструмента, предоставляя программисту возможность визуального анализа того, что может произойти на станке. Эта способность визуализировать УП прежде, чем она реально исполниться на станке, является одним из преимуществ САМ-систем. В завершении,

программист может ввести команду для генерации управляющей программы в виде G-кодов.

*Шаг 5: сохранение УП.* Независимо от того, каким образом была создана программа, заводские технологии всегда обеспокоены вопросами сохранения архивов УП и процедурами поиска в них. Даже в том случае, когда станок с ЧПУ выполняет одну и ту же программу, необходимо предварительно скопировать УП на случай возникновения сбоя при чтении в стойке станка.

Конечно, как только программа будет проверена на станке, пользователь захочет сохранить программу в ее эталонном виде для использования в недалеком будущем. Это может быть сделано несколькими способами.

Запоминающие устройства для хранения УП и организации поиска, включают устройства записи/чтения на магнитной ленте, устройство ввода/вывода на перфоленту, переносимые гибкие магнитные дискеты, устройства оперативной памяти, портативный компьютер и настольные компьютеры.

Многие современные системы с ЧПУ типа CNC укомплектованы RS-232-C портом. Все современные персональные компьютеры также оборудованы RS-232-C портом. Подключая кабелем перечисленные выше два порта, пользователь может управлять процессом передачи данных от компьютера в ОЗУ системы с ЧПУ. Безусловно, для этого требуется специализированная программа, которая может как загружать, так и выгружать УП из стойки ЧПУ. Большинство современных САМ-систем включают в свой состав программы для загрузки УП. Более того, имеются решения по прямому управлению станков с ЧПУ от компьютеров.

### 9.1.1. Структура САМ-системы

Любая САМ-система включает в свой состав три основных модуля:

1. Препроцессор – обеспечивает формирование геометрической информации об обрабатываемой детали. Такая информация может быть задана двумя основными способами: ручное задание с помощью графических средств САМ-системы и передача геометрической информации из CAD-системы;

2. Процессор – обеспечивает автоматически или при взаимодействии с технологом-программистом разработку последовательности обработки, выбор режущего инструмента, расчет режимов резания, разработку траектории перемещений инструмента и расчет координат опорных точек. Результатом является формирование УП на промежуточном языке называемом CLDATA;

3. Постпроцессор – обеспечивает перевод программы из промежуточного языка CLDATA на язык, понятный конкретному станку с ЧПУ с учетом всех его особенностей, в том числе и технических характеристик (учет диапазона подач, диапазонов скоростей, допустимого количества инструмента и особенностей его смены). Постпроцессор является одним из существенных элементов системы, определяющим ее успешное использование в производстве.

### **9.1.2 Разработка информационно-технического комплекса создания постпроцессоров для современного технологического оборудования с ЧПУ**

#### *9.1.2.1 Анализ функций и современных методов создания постпроцессоров для технологического оборудования с ЧПУ*

Сегодня значительная доля всех управляющих программ для оборудования с ЧПУ написана с использованием САМ-систем. Это является очень эффективным средством разработки УП для современных станков. Использование САМ - систем позволяет в разы уменьшить время написания управляющих программ, как для сложных деталей, так и для относительно простых. Помимо скорости написания увеличивается и точность обработки. Также внедрение САМ - систем позволило применить современные способы обработки, такие как высокоскоростное фрезерование и т.д.

Написание управляющей программы в САМ-модуле не является трудоемкой задачей, сложности возникают при адаптации полученной программы для конкретной стойки ЧПУ. Основные проблемы возникают при постпроцессировании созданной управляющей программы.

Постпроцессор является транслятором, преобразующим CL-файл CAD/САМ-системы в формат, особенный для каждой отдельно

взятой системы с ЧПУ. Он преобразует данные о положении режущего инструмента, рассчитанные в САМ-системе (формат APT/CL), в коды конкретного станка (G/M-коды), с учетом особенностей его кинематики. Для многих предприятий характерно представление о постпроцессоре, как о чем-то неизменном и чуть ли не являющимся частью самого станка. Более того, зачастую постпроцессор пишется для этого предприятия некой специализированной фирмой, делая практически невозможным коррекции в его функционировании. В результате, персонал предприятия рано или поздно обнаруживает ошибки в работе постпроцессора или понимает, что постпроцессор не позволяет использовать более прогрессивные методы механической обработки.

Сейчас нет САМ-системы, которая не содержала бы в себе набор обобщенных постпроцессоров (Catia, Mastercam) или редактор постпроцессоров (Pro/Engineer, Delcam-PowerMill). И если парк станков состоит из Sinumerik, Haidehain или других распространенных на сегодняшний день систем ЧПУ, то проблем с постпроцессором не возникнет. Но могут возникнуть значительные проблемы с такими системами ЧПУ как 2C42-65, 2C42, 2P22, 2Y22 и т.д. Но на многих заводах нашей страны сохранились станки с такими системами ЧПУ, некоторые уникальны в своем роде и используются для обработки простых деталей, обработка которых занимает не так много времени, в то время когда новое оборудование загружено более сложными деталями, требующими высокой точности. Кроме того, некоторое современное оборудование обладает такой конфигурацией, что имеющийся постпроцессор для данной стойки из-за особенностей оборудования не дает на выходе правильного кода.

Обычно в данной ситуации подбирают подходящий постпроцессор из списка, а потом редактируют полученную управляющую программу. В итоге на это тратиться много времени, и, может оказаться, что после проверки придется переделывать часть программы. Также можно постоянно проверять CLDATA при написании УП, следить за тем, чтобы используемые функции поддерживались постпроцессором и вручную вставлять необходимые строки. В действительности есть только один правильный выход – создать собственный постпроцессор.

Производители САМ-систем поставляют как открытые, так и закрытые постпроцессоры. Закрытые постпроцессоры не разрешается адаптировать никому, кроме авторизованных компаний. Архитектура открытых постпроцессоров является, соответственно, открытой, что дает возможность любому клиенту вносить модификации с целью настройки режимов работы постпроцессора.

Преимущество подхода, основанного на поставке зарытых постпроцессоров, состоит в простоте и надежности. Пользователи получают то, за что они заплатили, и САМ-система обеспечивает все их потребности в отношении постпроцессирования.

Открытость архитектуры дает пользователям больше вариантов настройки постпроцессора. В настоящее время образовалось сообщество специалистов, обладающих умением адаптировать постпроцессоры, и члены этого сообщества обмениваются знаниями друг с другом. В открытых постпроцессорах обеспечивается свой собственный уровень безопасности. Поскольку даже глубокая их модификация может проводиться за пределами ядра САМ-системы, снижается вероятность того, что код принадлежащей пользователю САМ-системы, будет искажен.

На сегодняшний день распространено 3 способа создания постпроцессоров:

- Индивидуальный способ - это самый старый способ написания постпроцессоров, когда с помощью специальных языков программирования (чаще всего это C++) пишется постпроцессор для определенного станка. Этот процесс очень дорогой, долгий и не гибкий, поэтому мало приемлем.

- Обобщенный способ - данный метод заключается в обобщении однотипных стоеч ЧПУ, позволяя вносить в постпроцессор небольшие поправки, данный метод также не может охватить уникальное оборудование.

- Метод генератора - заключается в создании алгоритмов обработки записей, полученных из САМ-модуля. Из набора этих алгоритмов затем получается постпроцессор.

На данный момент для упрощения создания постпроцессоров в состав развитых технологических систем включаются специальные модули — генераторы постпроцессоров.

Обобщенно способы разработки постпроцессора методом генератора можно разделить на табличные и языковые.

Табличный способ наиболее простой в применении для неподготовленных пользователей. При разработке конкретного постпроцессора достаточным является заполнение типовых таблиц по инструкциям к станку и его системе управления. При существенной простоте использования, возможности получения эффективных постпроцессоров с табличными генераторами значительно ограничены.

Гораздо большую гибкость предоставляет языковой способ генерации постпроцессоров. В этом случае, постпроцессор составляется на упрощенном языке программирования с использованием определенного набора специальных технологических операторов.

Наиболее актуальным, рациональным и действенным методом является использование смешанной схемы создания постпроцессора. При данном подходе основные функции постпроцессора создаются заполнением типовых таблиц, а специфические составляются с помощью языкового генератора.

При разработке постпроцессора данным методом, технолог или программист должен знать и иметь:

- руководство по эксплуатации станка;
- перемещение осей, референтную позицию станка;
- пределы подачи по осям;
- ограничения и диапазоны шпинделя;
- контроллер станка или руководство программиста;
- G и M коды станка;
- регистр адреса, его формат и пределы;
- требования кругового движения;
- макроязык для разработки постпроцессоров.

На рис. 9.2 представлена схема функционирования постпроцессора, разрабатываемого по смешанной схеме.

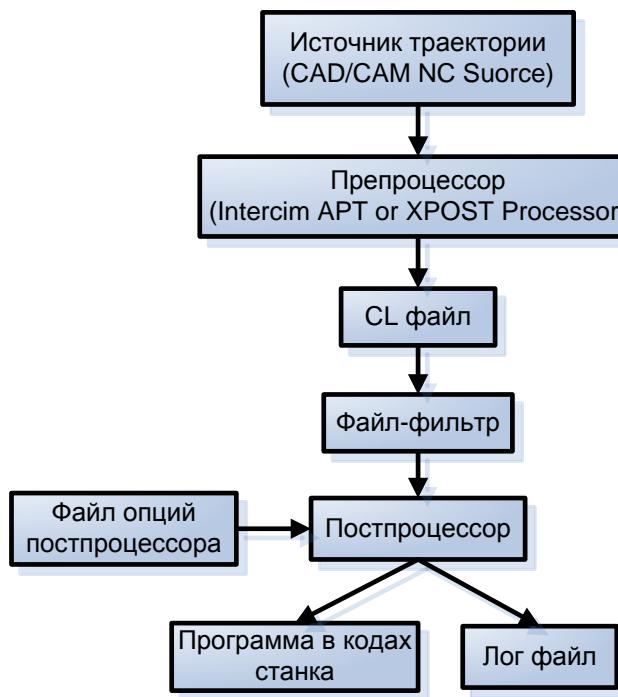


Рис. 9.2. Схема функционирования постпроцессора

В САМ-системе формируется траектория движения инструмента, которая передается препроцессору, формирующему на ее основе CL-файл. Этот файл обрабатывается фильтром. Фильтр служит для корректировки CL-данных и приведению их к виду, корректно обрабатываемому постпроцессором. Кроме того, фильтр содержит в себе специфические команды постпроцессора, которые невозможно задать табличным способом. Фильтр представляет собой файл, написанный на макроязыке. Измененный фильтром CL-файл передается постпроцессору. Кроме того, к постпроцессору подключается файл опций, конфигурирующий постпроцессор на конкретный станок, но не затрагивающий изменений, сделанных файлом фильтром. После постпроцессирования получается программа в кодах конкретного станка и создается лог файл с описанием ошибок и предупреждений, возникших при генерации программы.

Современный постпроцессор обладает возможностями корректировать информацию таким образом, чтобы она лучше соответствовала технологическому процессу и процедурам обработки данных, принятым на конкретном предприятии. При программировании постпроцессора можно предусмотреть также и

вывод дополнительной информации – такой, как аварийные сигналы или сигналы для оборудования, выполняющего вторичные операции.

### *9.1.2.2. Индивидуальный постпроцессор*

Ранее, как правило, для каждого комплекса «станок-система с ЧПУ» специально обученный программист разрабатывал индивидуальный постпроцессор [31]. Далее происходил длительный процесс доводки постпроцессора путем активных консультаций с технологом-расчетчиком управляющих программ, а также опытными прогонами управляющих программ (рассчитанных при помощи постпроцессора) на станке с ЧПУ. Наконец, постпроцессор «сдавался» в опытную эксплуатацию заказчику. Затем наступал процесс исправления ошибок и неучтенных при разработке особенностей программирования стойки и технологии изготовления деталей, принятых на данном предприятии. В итоге рождался постпроцессор, индивидуальный для данного станка, стойки ЧПУ и нередко – технологии обработки. Стоимость разработки индивидуального постпроцессора была высока – от 500 до 1500 \$. Исправить ошибки и сделать нововведения в постпроцессоре мог только программист, разработавший данный постпроцессор. Через индивидуальное постпроцессирование, как исторически первый и естественный способ разработки постпроцессоров, прошли все фирмы как отечественные, так и зарубежные, примерно в 1960–1970 гг. прошлого столетия.

В 80-х гг. прошлого века наблюдался всемирный бум автоматизации машиностроения, проектировались новые станки с непременно новой системой ЧПУ, одновременно возник небывалый спрос на САПР для таких станков со стороны заводов и компаний. В этих условиях програмисты, разработчики-постпроцессоров, просто не успевали писать и отлаживать новые постпроцессоры. Эти объективные причины подтолкнули разработчиков постпроцессоров к идеи автоматизации собственного труда, т. е. средств автоматизации разработки постпроцессоров.

### 9.1.2.3. Обобщенный постпроцессор

Для начала программисты стали обобщать информацию об использовании одной и той же системы ЧПУ вместе со станками различных производителей, но одного принципа обработки (например, токарная обработка). Выяснилось, что управляющие программы для таких станков, «вооруженных» однотипной системой ЧПУ, различались, в лучшем случае, незначительными вариациями в оформлении структуры кадра, разрядностью, оформлением начала и конца программы.

Поэтому вскоре родилась идея обобщить алгоритмы разработки постпроцессоров на однотипное оборудование разных фирм, но имеющее одну и ту же систему ЧПУ. Идея использования обобщенных постпроцессоров была поистине революционной. Ведь разработка постпроцессора для новой модификации станка с ЧПУ, для которого уже имелся обобщенный постпроцессор, требовала от программиста всего лишь небольшой модификации узкого набора программ для учета особенностей нового оборудования.

Это сокращало сроки, стоимость и трудоемкость разработки нового постпроцессора; способствовало снижению издержек фирм-разработчиков постпроцессоров и их заказчиков, оказывало сильное воздействие на конкурентную борьбу между производителями САМ-систем в мире. Выигрывал тот, кто дешевле и быстрее обеспечивал клиента готовым постпроцессором. Кроме того, некоторые фирмы продавали именно «обобщенные постпроцессоры» на 5–10 станков с одной системой ЧПУ по цене одного индивидуального, что было выгодно их клиентам и чрезвычайно невыгодно фирмам-конкурентам, еще не освоившим эту технологию.

Как ни парадоксально, но небольшое число современных САМ-систем до сих пор используют в своем составе обобщенные постпроцессоры. Однако постепенно устаревающая технология неожиданно получила оживляющий импульс – в таких системах теперь используются автоматические корректоры кадров управляющих программ. Суть «ноу-хау» – дать возможность разработчику или пользователю описать на специальном макроязыке изменения, которые затем автоматически и последовательно выполняются постпроцессором над каждым кадром во время формирования УП.

Таким образом, можно, например, вставить в кадр новый адрес и значение (например, некую функцию G99), удалить неверный или ошибочно сформированный адрес и значение (например, N0100) или заменить адрес со значением (например, F9000 на G00). Безусловно, макроязык, на котором программируются такие операции, более сложен и зависит от фантазии разработчика. Например, в ряде языков есть и более крупные модификаторы типа «удалить весь кадр» или «вставить новый кадр».

Автоматические корректоры позволяют «законсервировать» обобщенный постпроцессор. А ограхи его настройки на язык нового комплекса «станок–система ЧПУ» попытаться исправить при помощи составления макропроцедур. Этот метод, впервые примененный в системе PEPS, дал свои плоды – макроязык коррекции кадров УП применяется теперь весьма широко и не только в обобщенных постпроцессорах.

А недостатки такого метода постпроцессирования видны. Используя макроязык, можно менять неверные адреса перемещений, структуру кадра. Можно, наконец, вставить даже последовательность техкоманд. Но поскольку макропрограмма может менять только один (текущий) или два (текущий и следующий) кадра, сформированные постпроцессором, то более сложные режимы выдачи техкоманд в виде цепочек символов, выдаваемых в совокупность кадров (да еще с предыдущим и последующим перемещениями), реализовать на макроязыке можно, но весьма не просто.

Можно констатировать, что автоматические корректоры УП в обобщенных постпроцессорах позволяют поочередно исправить кадры сформированной программы, а в ряде реализаций - не допускают изменений значений адресов, если это касается перемещений по линейным и круговым элементам траектории. Таким образом, обобщенное постпроцессирование с макроязыком автоматической коррекции, безусловно, имеет право на жизнь, хотя и не лишено ограничений и недостатков при очевидной простоте реализации. Поскольку технология подразумевает овладевание макроязыком и диаграммой работы постпроцессора, то весьма трудно предположить ее полную прозрачность для рядового технолога. А следовательно, по-прежнему этот метод правильнее позиционировать как инструмент разработчика, а не пользователя (хотя это и рекламируется в ряде САМ-систем).

### *9.1.2.4. Универсальные постпроцессоры*

Почти одновременно с появлением методологии обобщенного постпроцессирования программисты-разработчики постпроцессоров пришли к осознанию совершенно другой идеи. Два совершенно разных постпроцессора (индивидуальные или обобщенные) последовательно читают записи из файла траектории движения инструмента и техкоманд (далее CLDATA-файл) и выполняют преобразование этих записей в один или несколько кадров управляющей программы по правилам, отличным для разных станков и систем ЧПУ. Следовательно, решили программисты, если сопоставить каждой записи CLDATA-файла алгоритм ее превращения в кадр управляющей программы и сохранить эти правила отдельно для каждого станка с ЧПУ в виде файла, тогда можно будет создать один универсальный постпроцессор как машину, транслирующую каждую запись CLDATA-файла в кадр(ы) управляющей программы по правилам, которые можно подгружать из внешних файлов.

Такой метод получил название «универсальный постпроцессор». Программист описывал алгоритмы обработки каждой записи CLDATA-файла применительно к методике ручного программирования конкретного комплекса «станок-система ЧПУ» и сохранял эти правила (алгоритмы) в виде текстовых файлов—постпроцессоров. А технолог лишь выбирал – при помощи какого файла-описателя алгоритмов, преобразовать свой CLDATA-файл в файл управляющей программы.

Эта идея, заимствованная из методов построения трансляторов с настраиваемой лексикой и семантикой, получила развитие на рубеже 90-х гг. прошлого века. Подавляющее большинство CAD/CAM-систем используют сегодня такой метод для решения задач постпроцессирования.

Преимущества универсального постпроцессирования:

1. Вместо написания программ, реализующих каждый новый постпроцессор, программист лишь описывал алгоритмы преобразования записей CLDATA в кадры УП.

2. Описание алгоритмов и их отладка выполнялись существенно быстрее, чем программирование и отладка нового постпроцессора, попутно снижались требования к квалификации программиста,

ускорялись сроки внедрения постпроцессора, иными словами, значительно снижались издержки.

3. Окончательная отладка постпроцессора на предприятии более не требовала модификации программ, а предполагала лишь модификацию описания алгоритма (обычный текстовый файл).

4. При определенных условиях модификацию алгоритмов мог провести и сам технолог в случае соответствующей квалификации и предварительного обучения. То есть впервые появилась реальная возможность отчуждения постпроцессора от его разработчика.

Недостатки универсального постпроцессирования:

1. По-прежнему постпроцессоры разрабатываются и отлаживаются разработчиком. Лишь 10–15 % предприятий позволяют себе содержание квалифицированных программистов, знакомых с технологией машиностроения и обработки на станках с ЧПУ и способных самостоятельно описать, отладить или модифицировать алгоритмы для генераторов постпроцессоров. Таким образом, среднестатический генератор постпроцессоров пока остается в массе скорее плохо отчуждаемым продуктом, чем инструментом технолога;

2. Универсальные постпроцессоры непросто настроить на морально устаревшее оборудование. Особенно со сложной системой требований к расчету режима разгона-торможения (например, СФП-3 с системой ИЛ4). Известно, что такое оборудование успешно применяется до сих пор.

#### *9.1.2.5. Инвариантное постпроцессирование*

Метод «Инвариантное постпроцессирование (ИП)» стоит обособленно в ряду других методов постпроцессирования. Основная идея метода заключается в его названии, т. е. инвариантности постпроцессора от особенностей станка и языка программирования системы ЧПУ. Иными словами, инвариантный постпроцессор может быть настроен на генерацию программ для любых типов станков и любых систем ЧПУ. Идея метода состоит в том, что настройка инвариантного постпроцессора на конкретный комплекс «станок-система ЧПУ» состоит не в написании алгоритмов трансляции «CLDATA->кадр УП», а в заполнении анкеты(паспорта), в которой всего лишь перечисляются параметры станка и системы с ЧПУ. И, наконец, последней, но весьма важной идеей рассматриваемого

метода, является полная отчуждаемость от разработчика, иными словами, изначально инвариантный постпроцессор является инструментом технолога, а не программиста.

Основное преимущество инвариантного постпроцессора: позволяет технологу самостоятельно настроить свою САМ-систему на любое оборудование с ЧПУ, посредством ввода информации содержащейся в паспорте станка.

### **9.1.3 Создание постпроцессоров для современного технологического оборудования с ЧПУ с использованием генератора постпроцессоров**

*G-POST*

Для упрощения создания постпроцессоров в состав САМ-систем включаются специальные модули – генераторы постпроцессоров. Они позволяют инженерам разрабатывать постпроцессоры, настраивать их под имеющееся оборудование без помощи программистов. Для станков с ЧПУ с малым количеством управляемых осей (например, токарный)- это несложная задача, с которой может справиться и технолог средней квалификации, но если речь идет о многокоординатной обработке, то могут возникнуть сложности с интерпретацией движений. Для ее решения необходимо хорошо знать принципы функционирования станкам и особенности программирования.

Рекомендуется следующая методика создания постпроцессоров с использованием генератора построцессоров G-POST системы Pro/Engineer, которая призвана помочь технологам при самостоятельном создании постпроцессоров.

Процесс создания постпроцессоров в генераторе постпроцессоров G-POST включает следующие этапы:

1. Изучение принципов функционирования станка.
2. Выбор существующего или создание нового контроллера для станка.
3. Заполнение стандартных таблиц-настоек.
4. Указание особенностей интерпретации G-кодов для данного станка.

5. Написание необходимых недостающих функций на макроязыке FIL.
6. Тестирование и доработка постпроцессора.

На первом этапе необходимо изучить особенности работы станка, а именно:

- перемещение его осей;
- референтную позицию станка;
- пределы подачи по осям;
- ограничения и диапазоны шпинделя;
- G-коды, используемые станком;
- регистры адресов, его формат и пределы;
- требования кругового движения.

На основе этих данных в генераторе G-POST выбирается контроллер (рис. 9.3), характеризующий механику данного станка.

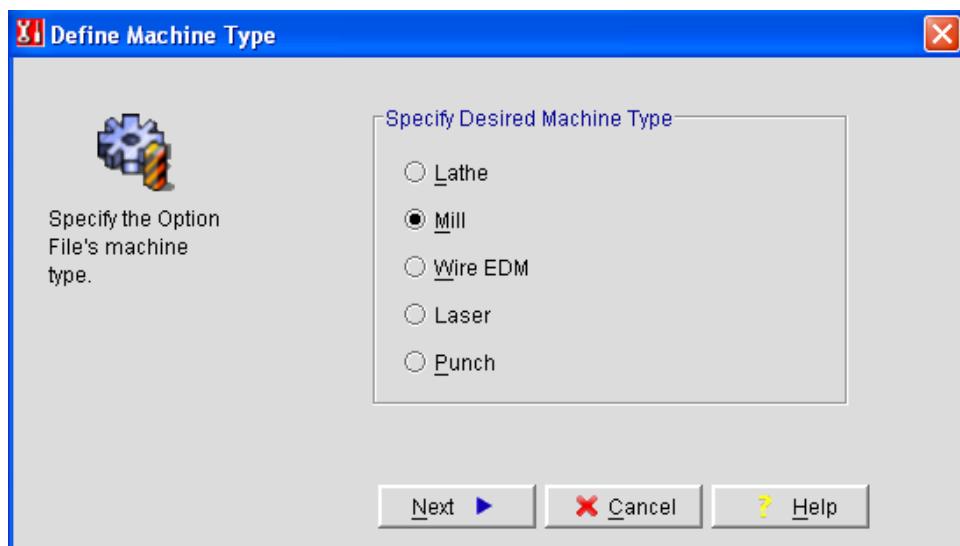


Рис. 9.3. Выбор контроллера

Если же из имеющихся контроллеров не удалось подобрать требуемый, то необходимо создать свой собственный.

Для дальнейшей настройки постпроцессора необходимо открыть созданный файл и последовательно заполнить в диалоговом окне таблицы (рис. 9.4).

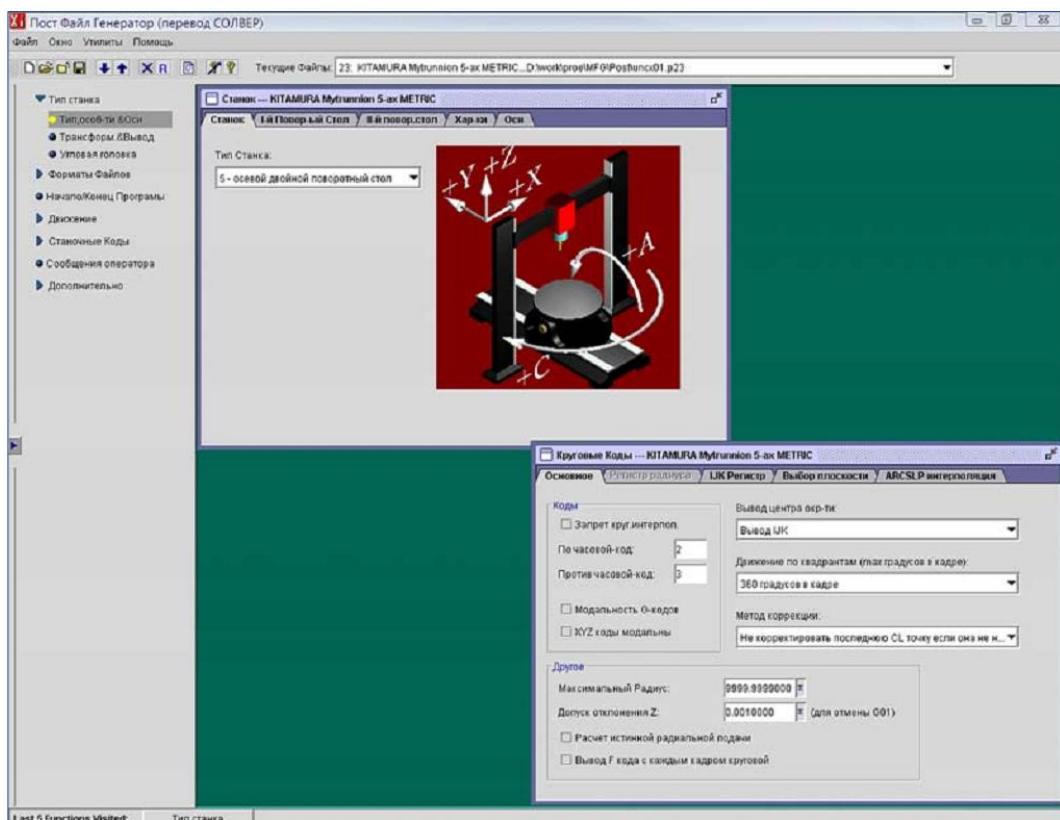


Рис. 9.4. Заполнение таблиц

Диалоговые окна являются средством параметрической настройки постпроцессора. Они вызываются посредством выбора соответствующей опции меню, нажатием на соответствующую иконку инструментальной панели или выбором соответствующей закладки G-POST.

Диалоговые окна позволяют настроить:

- тип станка;
- вывод нужной информации в начале и конце УП;
- правила задания в УП команд смены инструмента, охлаждения, коррекции инструмента, подачи, оборотов шпинделя, сверлильных циклов;
- правила задания перемещений при линейной, круговой и сплайновой интерполяции;
- порядок нумерации кадров УП;
- правила разбиения УП на части с учетом имеющегося размера памяти системы ЧПУ;
- состав адресов кадра УП, порядок их вывода в кадре и правила задания информации под каждым адресом;
- правила задания подпрограмм;

- состав и правила задания подготовительных и вспомогательных функций (G- и M-функций), их разбиение по группам;
- описание состава, характеристик и взаимного расположения исполнительных органов (осей) станка.

Конструктивные особенности оборудования разнообразны, они могут включать в себя дополнительные функции, которые надо задействовать. Для этого добавляются дополнительные G и M коды, причём одно и то же числовое значение кода на одном станке, может выполнять совершенно другую функцию на станке другой марки.

На разных производствах, использующих станки с ЧПУ, помимо их отличительных особенностей, есть свои традиции составления УП. К примеру, в одном случае нужно пронумеровать строки программы, проставить комментарии, а в другом нет.

Диалоговые окна G-POST отличаются большим числом различных параметров и продуманными наборами их вариантов, которые учитывают самые разнообразные способы задания команд УП в различных моделях оборудования с ЧПУ. Тем не менее, никакая параметрическая настройка не гарантирует того, что разрабатываемый постпроцессор сможет учесть все особенности конкретного оборудования с ЧПУ. Единственным гарантированным способом в этом случае является использование языка программирования.

FIL (Factory Interface Language) - высокоуровневый язык программирования (макроязык), с помощью которого описываются правила преобразования траектории движения инструмента, заданной в файле CLDATA, в управляющую программу. Программы на макроязыке (макросы) составляются так, что каждому виду оператора CLDATA соответствует свой макрос. При вызове постпроцессора он последовательно обрабатывает операторы файла CLDATA с помощью своих макросов и формирует команды УП (рис. 9.5).

```

$g ****
$g *      Cimfil Sections *
$g ****

CIMFIL/ON,TURRET      $$ CATCH THE COMMANDS
PTC = POSTF(20)        $$ SAVE THE CURRENT CL RECORD
_TNUM = POSTF(7,4)     $$ TOOL NUMBER
_ONUM = _TNUM          $$ OFFSET NUMBER
_MXCL = POSTF(5)       $$ NUMBER OF CL WORDS
IF(_MXCL.GT.4)THEN
LOOPST
DO/_LP1,_NN=5,_MXCL,1
_WRD = POSTF(7,_NN)    $$ GET THE CL WORD
_TYP = POSTF(6,_NN)    $$ GET THE CL WORD TYPE
IF(_TYP.EQ.0)THEN
CASE/_WRD
WHEN/(ICODEF(OSETNO))
    _ONUM = POSTF(7,(_NN+1))
ENDCAS

```

Рис. 9.5. Фрагмент кода программы на языке FIL

Операторы макроязыка FIL позволяют передавать параметры, использовать локальные и глобальные переменные, работать с внешними файлами, получать доступ к параметрам оборудования с ЧПУ (заданным в диалоговых окнах), выполнять арифметические и логические операции, использовать тригонометрические и другие стандартные математические функции, выполнять условные и безусловные переходы, работать с текстовыми строками и др.

Использование данных рекомендаций и генератора G-POST требует определенных знаний и навыков программирования, однако это позволяет сократить время проектирования постпроцессоров. Кроме того, возникает возможность оперативно учитывать практически любые требования и пожелания к управляющим программам.

## 9.2. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «ФЛАНЕЦ»

В качестве одного из примеров рассмотрим деталь «Фланец», предназначенную для соединения труб синхротрона. Внутри труб создается высокий вакуум (порядка  $10^{-9}$  Торр). Уплотняющий зуб

этой детали соединяется с полированной медной пластиной врезаясь в нее, тем самым обеспечивая герметизацию. Учитывая эти эксплуатационные требования, поверхность уплотняющего зуба должна быть высокоточной и не иметь царапин и выбоин (рис. 9.6). В связи со сложностью изготовления уплотняющего зуба ранее заказы на производство фланца размещались в США. Такая ситуация является экономически необоснованной, поэтому было необходимо организовать производство подобных деталей на отечественных предприятиях с целью обеспечения импортозамещения подобного типа изделий.

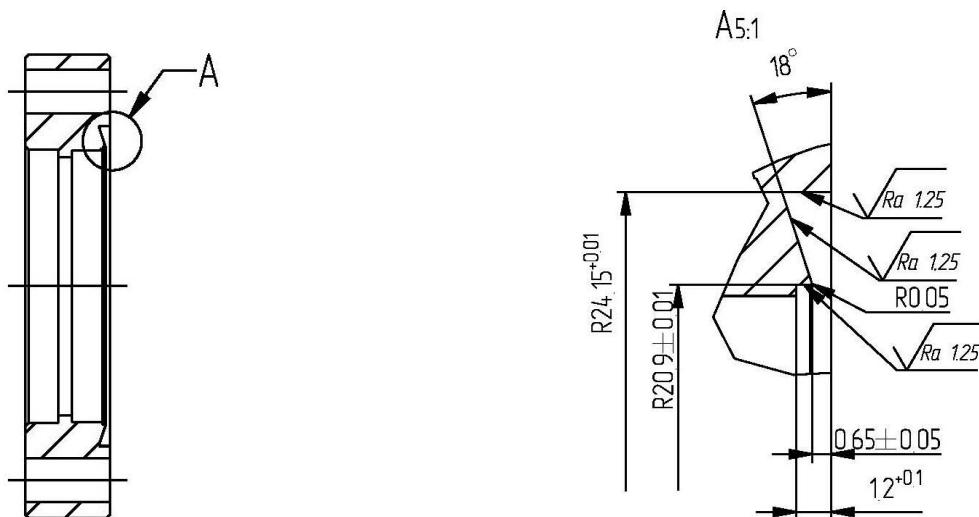


Рис. 9.6. Фрагменты чертежа фланца

Рассматриваемая группа деталей «Фланец» имеет более 20 типоразмеров, элементы группы имеют одинаковую конструкцию уплотняющего зуба, но различные размеры остальных элементов. Детали изготавливаются из материала Сталь 12Ч18Н10Т ГОСТ 5632-72. По техническим условиям в качестве заготовки может быть использован только листовой прокат. Круглый прокат не может быть применен по причине прохождения воздуха при глубоком вакууме через структуру материала.

С целью сокращения времени на подготовку производства таких деталей была использована система автоматизированного проектирования, позволяющая разработать и отладить технологию производства одной детали с последующим автоматизированным распространением технологии на другие детали. Для реализации

этого подхода была разработана типовая управляющая программа с элементами параметризации.

Для разработки управляющей программы использовалась CAD/CAM/CAE система ProEngineer WildFire 4.0. Для визуализации и верификации применялся программный комплекс VERICUT 6.0. Технология изготовления деталей была ориентирована на возможности токарно- фрезерного обрабатывающего центра Takisawa EX308.

Документация на изделие фланец была представлена в виде чертежа (рис. 9.6). На первом этапе необходимо создать 3D-модели детали. С точки зрения построения модели деталь является простой, однако необходимо учесть то, что в связи с большим количеством типоразмеров модель необходимо делать параметрическую, чтобы обеспечить автоматический пересчет УП. Разработанная параметрическая модель изделия фланец представлена на рис. 9.7.

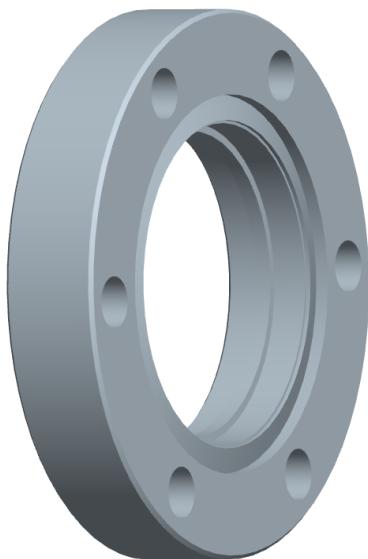


Рис. 9.7. Параметрическая 3D-модель детали фланец

На втором этапе подготовки производства проводилась разработка УП для станка с ЧПУ.

Система ProEngineer WildFire 4.0 является системой сквозной подготовки производства, кроме того, она обладает двунаправленной ассоциативностью. Эти свойства системы позволяют вносить практически любые изменения в проект на любой его стадии.

При создании УП использовалась ранее разработанная автоматизированная библиотека твердотельных инструментов и

станочных приспособлений. Библиотека твердотельных инструментов, помимо геометрического описания, содержит данные о режимах резания (данные о подаче, скорости и глубины резания). Режимы назначаются автоматически в зависимости от материала заготовки, инструмента и типа обработки (черновая, чистовая). При помощи данной библиотеки можно осуществить выбор оптимального инструмента для получения необходимой геометрии детали. Твердотельное представление инструмента и приспособлений дает возможность контролировать зарезы и столкновения в зоне резания (рис. 9.9), интерактивно проверить траекторию движения инструмента, используя отображение "реального" инструмента и, таким образом, позволяет выбрать инструмент оптимальной геометрии. В обработке данных деталей типа «фланец» это особенно актуально в силу высоких требований и точности геометрии уплотняющего зуба. На рис. 9.8 видно, что при изготовлении зуба расточным резцом, которым растачивается отверстие в фланце, зуб срезается. Необходимо подобрать инструмент с подходящей геометрией или разработать собственный инструмент. Используя возможности библиотеки, был подобран подходящий инструмент, он представлен на рис. 9.9, и разработан собственный резец (рис. 9.10).

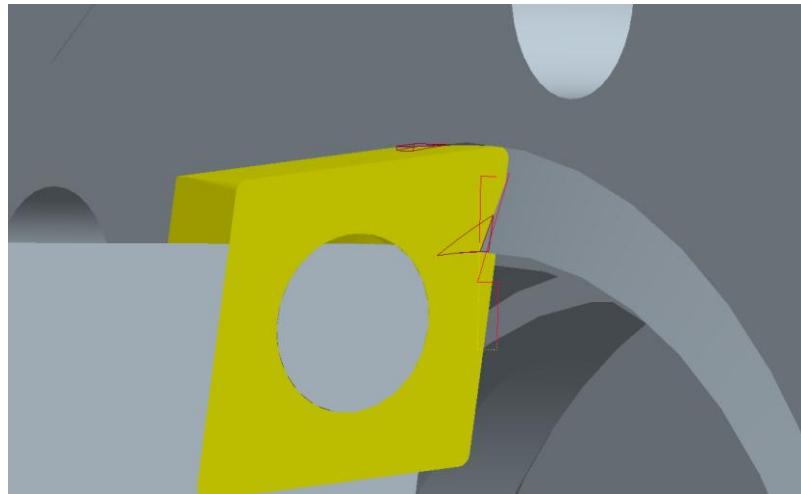


Рис. 9.8. Обнаружение зарезов при выборе инструмента с неподходящей геометрией

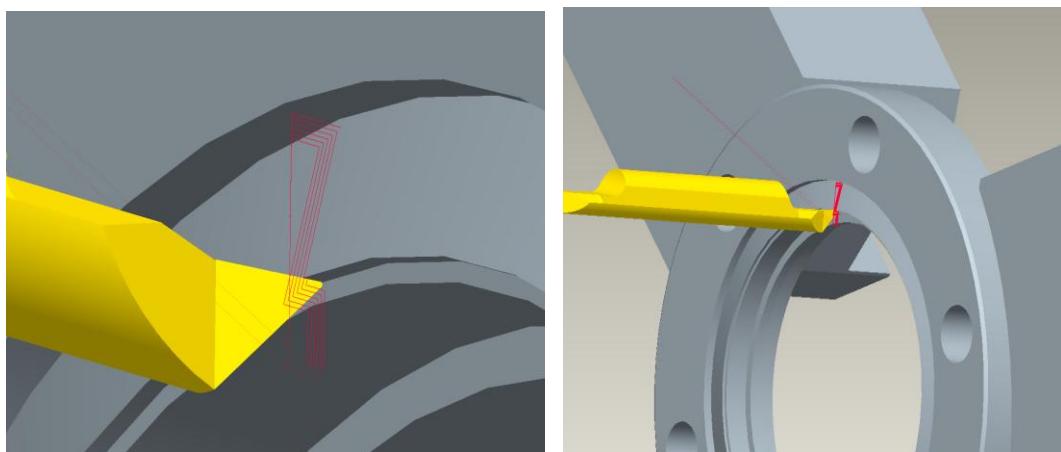


Рис. 9.9. Визуализация движения резания



Рис. 9.10. Разработанная конструкция инструмента

В связи со сложностью управляющей программы для обработки данной детали необходима ее предварительная отработка на оборудовании. Отработка программы непосредственно на станке занимает значительное время, что приводит к нерациональному использованию оборудования. Для исключения станка из процесса отработки УП была разработана виртуальная модель станка (рис. 9.11 (б)) в системе VERICUT. Виртуальный станок дает возможность обнаружить и локализовать коллизии между рабочими органами оборудования и приспособлениями при обработке деталей, а также отыскать ошибки в управляющей программе и выполнить оптимизацию кода. Ключевым отличием визуализации и верификации с использованием VERICUT от CAD\CAM систем является то, что программа, проверяемая в нем, представлена в G-кодах, а не в API или CL DATA. Оптимизация выполняется автоматически путем корректировки значений подачи с учетом

условий резания и удаляемого припуска, и дает возможность значительно сократить общее время обработки детали. Таким образом, отработка управляющей программы производилась полностью на компьютере, исключая использование технологического оборудования для этих целей (рис. 9.11 (а)).

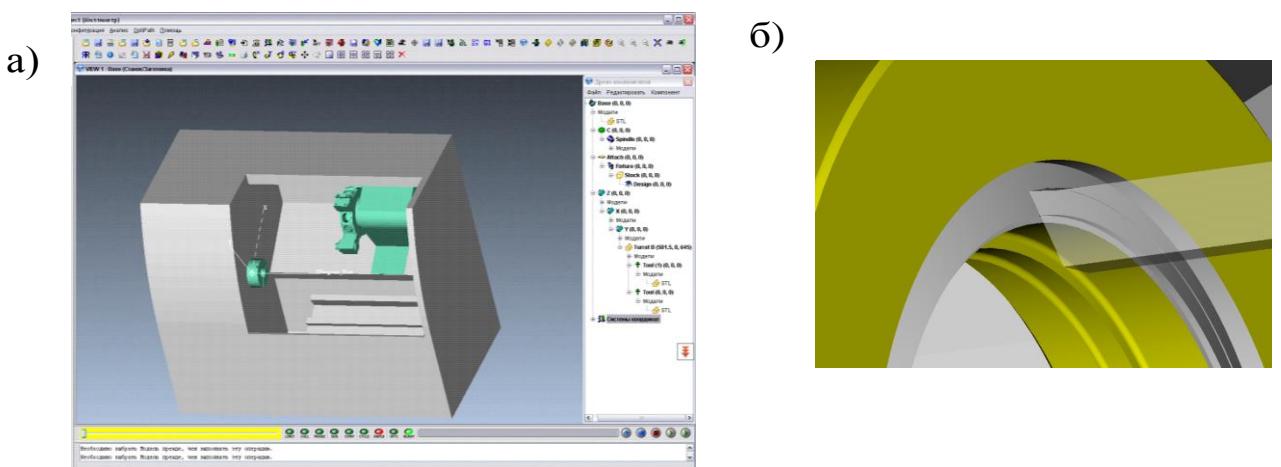


Рис. 9.11. Верификация обработки с использованием виртуальной модели станка (а) и имитационного моделирования процесса обработки (б)

Управляющая программа для обработки на оборудовании с ЧПУ в предлагаемой методике разрабатывается для одной типовой детали с применением описанных средств и далее осуществляется отладка и оптимизация УП на компьютере. После этого производится автоматизированный перенос управляющей программы на всю серию деталей.

Приведенный пример показал, что использование данной технологии позволяет существенно сократить время подготовки производства за счет полного компьютерного моделирования, верификации и оптимизации обработки, автоматического назначения режимов резания и автоматизированного переноса обработки на все типы деталей.

## ГЛАВА 10. РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ, ИНСТРУМЕНТА И ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

### 10.1. РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕКИ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ В РАМКАХ ИНТЕГРИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

Разработка библиотеки станочных приспособлений будет рассмотрена на примере применения интегрированной CAD/CAM/CAE-системы Pro/ENGINEER WildFire 4.0. Pro/ENGINEER является одним из лидеров в сфере автоматизированного проектирования изделий, воплощая в себе передовые инструменты 3D - разработки, которые основаны на лучших достижениях многих прикладных наук и технологий, и гарантируют соответствие стандартам любого предприятия и любой отрасли промышленности. Pro/ENGINEER предоставляет инженерам-технологам широкие возможности программирования ЧПУ и доступ к библиотеке инструментов, станочных приспособлений, которые позволяют разрабатывать, проверять и оптимизировать процесс механообработки.

Для разработки библиотеки станочных приспособлений необходимо наличие навыков опытного пользователя модулей Pro/ENGINEER Part, ProNC системы ProEngineer WildFire 4.0 и навыков администрирования и конфигурирования ProEngineer. Необходимо наличие чертежей приспособлений, информации о базировании и закреплении заготовки в этом приспособлении. Также является необходимым наличие геометрического описания инструмента и информация о режимах резания для данного инструмента.

При написание УП для оборудования с ЧПУ необходимо учитывать значительное число факторов, влияющих на траекторию движения инструмента. К таким факторам можно отнести расположение станочных приспособления для базирования и закрепления заготовок, геометрию режущих и вспомогательных частей инструмента. Для того, чтобы учитывать эти факторы,

необходимо иметь огромный опыт написания управляющих программ и отработки их на оборудовании. Но даже при наличии такого опыта невозможно полностью учесть всех нюансов обработки. Для наилучшего решения проблемы написания УП, учитывающей все эти особенности, необходимо использовать виртуальные библиотеки станочных приспособлений и инструмента.

Разрабатывая УП для оборудования с ЧПУ, программист непременно должен учитывать конфигурацию приспособления при формировании траектории инструмента. Используя описанную ниже методику, программист страхуется от ошибок, связанных с конфигурацией приспособления.

Методика создания библиотеки твердотельного инструмента включает следующие этапы:

1. Настройка структуры библиотеки станочных приспособлений. До создания элемента библиотеки необходимо создать каталог для библиотеки станочных приспособлений. По умолчанию система Pro/ENGINEER создает элемент библиотеки в текущем каталоге.

2. Создание твердотельной модели приспособления.

3. Задание необходимых параметров в модели приспособления.

4. Создание таблицы семейств в модели приспособления. Таблицы семейств - это коллекции деталей (или сборок или элементов), которые существенно схожи, но немного отличаются по одному или двум аспектам, таких как размер или особенность элементов. В данном случае она используется для создания вариации деталей из одного файла детали.

5. Создание интерфейсов в модели приспособления. Интерфейс создается в детали и применяется для определения ссылок, которые будут использоваться при сопряжении этой детали в сборке.

6. Назначение гибких компонентов в модели приспособления. Гибкость (Flexible) позволяет добавлять в сборку один и тот же компонент, но в различных состояниях.

7. Сохранение приспособления в библиотеке и настройка условий его применяемости.

Рассмотрим более подробно названные этапы.

### **10.1.1. Настройка структуры библиотеки станочных приспособлений**

До создания элемента библиотеки нужно создать каталог для библиотеки станочных приспособлений. По умолчанию система Pro/ENGINEER создает элемент библиотеки в текущем каталоге.

Создавая каталог для библиотеки станочных приспособлений, необходимо убедиться, что у всех пользователей есть разрешение на чтение его содержимого. При создании элемента библиотеки нужно скопировать файлы элемента библиотеки, name.gph и name\_gp.prт, в этот каталог библиотеки.

Для доступа к каталогу библиотеки станочных приспособлений в Pro/ENGINEER нужно задать имя каталога с помощью параметра файла конфигурации pro\_group\_dir.

Далее, необходимо установить дерево каталогов для поддержки иерархии библиотек станочных приспособлений. Его использование позволяет легко перемещаться по дереву каталогов для поиска конкретного элемента библиотеки для размещения его в модели механообработки.

### **10.1.2. Установка виртуальных станочных приспособлений при моделировании механообработки**

В системе ProEngineer WildFire 4.0 станочные приспособления (далее крепления) - это модель или сборка, которые помогают ориентировать и закреплять заготовку во время операции механообработки. Крепления могут быть созданы и сохранены в режиме Part (Деталь) или Assembly (Сборка) и восстановлены в режиме Manufacturing (Производство) во время создания креплений. Создание креплений в режиме Assembly (Сборка) выгодно, так как крепления могут быть созданы для промежуточных процессов со ссылкой на зону обработки. Это довольно просто, так как можно строить крепления, ссылаясь на зону обработки с помощью опции Use Edge.

Чтобы использовать крепления в процессах механообработки, нужно сначала определить установку креплений для обрабатываемой модели. Каждая установка креплений имеет наименование и

содержит информацию о креплениях, которые должны присутствовать в модели, когда крепление активировано. Только одна установка может быть активизирована. Названия установок могут быть использованы для того, чтобы контролировать крепления, которые расположены в пределах обрабатываемой модели. Так как установка креплений содержит информацию о сборке креплений, каждая обрабатываемая модель должна иметь явно определенные установки креплений. В отличие от сторон обработки или инструмента, нельзя использовать установки креплений одной модели механообработки для другой. Установки креплений могут быть определены перед началом процесса механообработки или в любое время между NC последовательностями.

### **10.1.3. Создание таблицы семейств и гибких компонентов**

Таблицы семейств - это коллекции деталей (сборок или элементов), которые существенно схожи, но немного отличаются по одному или двум аспектам, таких как размер или особенность элементов.

Используя таблицы семейств можно:

- создавать и хранить большое число объектов просто и компактно;
- создавать вариации деталей из одного файла детали без необходимости обновления и создания каждого в отдельности;
- создавать вариации с незначительными отклонениями, не используя уравнения для изменения модели;
- создавать таблицу деталей, которая может сохраняться для файла распечатки и включаться в каталоги деталей.

Таблицы семейств стимулируют использование стандартизованных компонент. Они позволяют представлять фактическую описание детали в Pro/ENGINEER. Кроме того, семейства упрощают взаимообмен деталей и подсборок в сборке, потому что экземпляры из одного и того же семейства автоматически взаимозаменяемы друг с другом.

Таблицы семейств являются, по своему существу, электронными таблицами, содержащими колонки и строчки. Они содержат следующие три компоненты:

1. Базовый объект (исходный объект или исходник), на котором основаны все остальные члены семейства.

2. Размеры и параметры, номера элементов, имена элементов, заданные пользователем, а также имена элементов сборки, которые выбираются для того, чтобы они могли быть таблично управляемыми (ниже названные как элементы).

3. Имена всех членов семейства (экземпляров), созданных таблицей, и соответствующие значения для каждого таблично управляемого элемента.

Строки содержат экземпляры деталей и их соответствующих значений; колонки используются для элементов.

Заголовки колонок включают имя экземпляра, а также имена всех размеров, параметров, элементов, членов, а также групп, которые были выбраны для таблицы. Размеры перечисляются по имени (например, d9) с ассоциированным именем символа (если существует) на следующей линии (например, depth). Параметры перечисляются по имени (символ размера). Элементы перечисляются по номеру элемента (например, F107) с ассоциированным типом элемента (например [cut] или имени элемента на следующей линии).

Исходная модель находится в первой строке таблицы. Табличные вводы (введенная информация), принадлежащие исходнику могут изменяться только при модификации фактической детали, подавляя или возобновляя элементы. При этом разработчик не может изменить исходную модель, редактируя введенную информацию в таблицах семейств.

*Примечание:* Имена таблицы семейств не чувствительны к регистру. Следовательно, любые последующие ссылки к введенным именам показывают их в символах верхнего регистра.

Для каждого экземпляра вы можете указать используется ли элемент, параметр или имя сборки в экземпляре либо путем обозначения, либо это представлено в экземпляре (Y или N), либо предоставляя числовое значение (в случае размера). Все ячейки с размерами должны иметь значение либо числовое, либо звездочку (\*), чтобы использовалось значение исходника.

Все аспекты исходной модели, которые не включены в таблицу семейств, автоматически попадают в каждый экземпляр. Например, если исходная модель имеет параметр, называемый Material со

значением Steel, то все экземпляры будут иметь этот же самый параметр и значение.

Далее, для примера, показано формирование значений параметров в таблице семейств для сборки «Кулачки» (рис. 10.1).

Таблица семейства :KULACHKI_SOFT					
Тип	Имя экземпляра	Наименование	d2 DIAMETR_PROTACHKI	d1 GLUBINA_PROTOCHKI	d0 DLINA_PROTOCHKI
KULACHKI_SOFT	kulachki_soft.asm	50.00	8.00	10.00	
KULACHKI_SOFT_D150_L7	kulachki_soft.asm...	150.00	*	7.00	
KULACHKI_SOFT_D100_L7	kulachki_soft.asm...	100.00	*	7.00	
KULACHKI_SOFT_D50_L7	kulachki_soft.asm...	50.00	*	7.00	
KULACHKI_SOFT_D50_L10	kulachki_soft.asm...	50.00	*	10.00	
KULACHKI_SOFT_D100_L10	kulachki_soft.asm...	100.00	*	10.00	
KULACHKI_SOFT_D150_L10	kulachki_soft.asm...	150.00	*	10.00	
KULACHKI_SOFT_D50	kulachki_soft.asm...	50.00	*	37.00	
KULACHKI_SOFT_D100	kulachki_soft.asm...	100.00	*	37.00	
KULACHKI_SOFT_D150	kulachki_soft.asm...	150.00	*	37.00	

Рис. 10.1. Таблица семейств для сборки элементов приспособления «Кулачки»

#### 10.1.4. Создание станочных приспособлений на примере кулачков для трехкулачкового патрона

Первоначально строится трехмерная модель кулачка (рис. 10.2) в соответствии с чертежом.

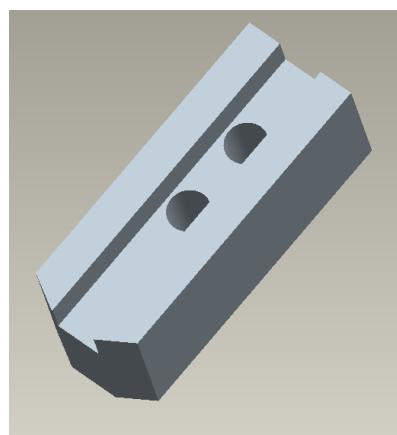


Рис. 10.2. Модель кулачка

Собирается сборка из 3-х моделей кулачка, делается совместный вырез, соответствующий расточке кулачка под обрабатываемую деталь, размерам данного выреза присваиваются имена, для передачи этих параметров в таблицу семейств (рис. 10.3).

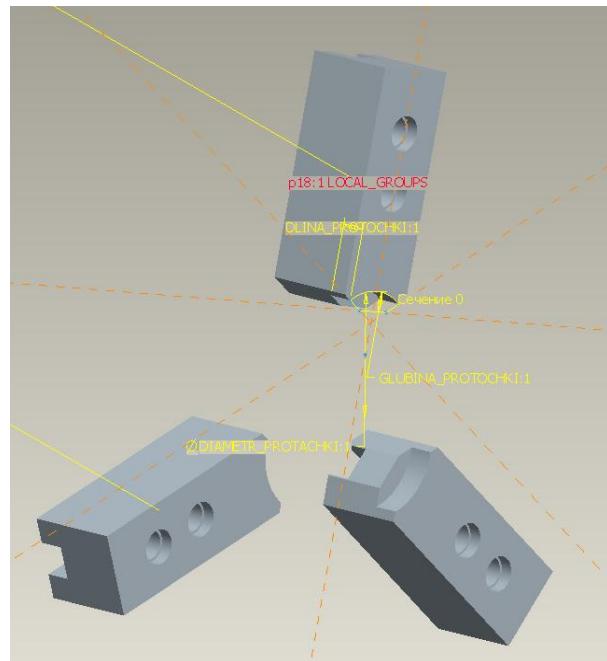


Рис. 10.3. Параметры проточки в кулачках

Интерфейс создается в проектируемой детали и применяется для определения ссылок, которые будут использоваться при сопряжении этой детали в сборке. При этом деталь сопрягается с обычными привязками, «Сопрячь», «Выровнять», «Вставить». Когда добавляется такой компонент в сборку, определяется ответные ссылки только на сборочной модели.

Например, при создании интерфейса для главного образца кулачков в таблице семейств, первой предопределенной ссылкой будет цилиндрическая поверхность выреза – определена привязкой Insert (Вставить). Второй ссылкой будет плоская поверхность выреза – определена привязкой Mate (Сопрячь). Каждый раз, когда будут вставляться кулачки в сборку, достаточно будет указывать ответные ссылки для Insert (Вставить) и Mate (Сопрячь) только на сборке. Во вставляемой детали эти ссылки будут выбраны автоматически. Есть возможность пользоваться опцией Auto Place (Авторазмещение), при которой необходимо указать на модели приблизительное место расположения вставляемого компонента, а система сама просчитает

возможные варианты размещения с учетом интерфейса. Еще одна опция, доступная при использовании интерфейса, это drag-n-drop. С помощью этой опции в окне браузера необходимо выбрать компонент, и курсором перетащить его в окно сборки на приблизительное место его расположения. А дальше включается Auto Place (Авторазмещение). Данная функциональность определяется опцией файла конфигурации `autoplac_single_comp`. Интерфейс может также определяться «на лету». Это происходит, когда после добавления компонента в сборку обычным способом снова добавляется в сборку этот же компонент. Система предложит использовать эти же ссылки, что и в прошлый раз. Это называется временным интерфейсом. Данная функциональность определяется опцией файла конфигурации `create_temp_interfaces`. Использование интерфейса экономит время, так, при сопряжении обычных компонентов не нужно выбирать ссылки на добавляемых компонентах.

Для адаптации сборки кулачков к диаметру обрабатываемой заготовки необходимо размеру заготовки присвоить и настроить атрибуты гибкости.

Гибкость (Flexible) позволяет добавлять в сборку один и тот же компонент, но в различных состояниях. Например, кулачки, в зависимости от диаметра модели заготовки могут иметь разное разнесение относительно оси, сохраняя сделанный заранее диаметр проточки. В этом случае модель не надо растягивать вручную, система сама может изменить значения гибких размеров для отображения модели в каждом состоянии.

Переменные элементы могут быть предопределены для любой детали или сборки. Переменный элемент может быть использован каждый раз, когда добавляется компонент в сборку. Возможно определить следующие переменные элементы для придания компоненту адаптивности:

- значения размеров, параметров и допусков;
- состояние «Подавленный» или «Возобновленный» для фичеров и компонентов в подсборках (сборках, входящих в основную сборку).

Это важная особенность, так как модель представляется именно такой, какой она будет в реальном изделии. Кроме того, несмотря на то, что визуально в сборке кулачки будут казаться разными деталями,

система будет воспринимать их как одинаковые детали. Чтобы это проверить, понадобится открыть Ведомость материалов (Bill of Material).

Остальные (не переменные) свойства у модели остаются общими, и, если в гибком компоненте сборки изменится общий параметр, он изменится и в оригинальной детали. Гибкий элемент может варьироваться только в режиме сборки, но не на уровне детали. Для задания переменности размеру на уровне детали существует инструмент Таблица семейств, рассмотренный выше.

## **10.2. РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕКИ ВИРТУАЛЬНЫХ 3D-МОДЕЛЕЙ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В СИСТЕМЕ *PRO/ENGINEER WILDFIRE 4.0***

### **10.2.1 Анализ базовых инструментов САПР Pro/ENGINEER для создания библиотек виртуальных 3D-моделей режущего инструмента**

В процессе верификации и симуляции обработки, режущий инструмент должен отображаться в виде твердого тела. Твердотельные модели режущего инструмента могут эффективно использоваться при создании управляющих программ для станков с ЧПУ и верификации механической обработки на виртуальных станках.

Процедура создания моделей режущего инструмента показана на примере CAD-модуля системы Pro/ENGINEER. В этом модуле создаётся сборочная 3D-модель режущего инструмента. При этом используются следующие базовые операции трехмерного моделирования: вытягивание, вращение и скругление.

Pro/ENGINEER предоставляет возможность создания и изменения фасок. Фаски представляют собой тип элемента, в котором кромка или угол являются скошенными. Поверхности могут быть поверхностями твердых тел или традиционными для Pro/ENGINEER составными поверхностями и поверхностями с нулевой толщиной.

Дерево модели – элемент навигации, который используется для удобного поиска нужного объекта, а также работы с ним через контекстное меню. Дерево модели представлено в иерархическом

виде, конечными узлами являются элементы построения. Существует возможность задания фильтра дерева для скрытия/отображения интересующих элементов построения. С помощью дерева можно изменять последовательность создания различных элементов модели, тем самым, меняя саму её структуру. Это бывает очень удобно в тех случаях, когда более поздние по времени создания элементы не являются потомками более ранних, а значит, могут редактироваться независимо от них.

В сборках Pro/ENGINEER существует много способов сопряжения компонентов. Сопряжение компонентов с использованием жестких привязок, это один из основных способов создания в системе сборок.

Система оперирует различными типами привязок, такими как Mate (Сопрячь), Align (Выровнять), Insert (Вставить). Более простым использование этих привязок делает автоматическая привязка. Если сопрягать компоненты с применением автоматической привязки, то достаточно указывать ссылки на сопрягаемых объектах, а система сама будет интерпретировать эти ссылки в зависимости от выбранной геометрии и взаимного расположения сопрягаемых деталей.

В результате можно сделать выводы о том, что:

1. CAD-модуль САПР Pro/Engineer имеет все необходимые возможности для эффективного создания 3D-моделей режущего инструмента.
2. CAM-модуль системы Pro/Engineer имеет возможности для привязки режимов резания к 3D-моделям инструмента.

Все рассмотренные возможности и инструменты, реализованные в САПР «тяжелого» класса Pro/Engineer, позволяют точно и быстро создавать библиотеки виртуальных 3D-моделей режущего инструмента.

### **10.2.2. Разработка структуры библиотеки виртуальных 3D-моделей режущего инструмента**

При написании УП для оборудования с ЧПУ необходимо учитывать значительное число факторов, влияющих на траекторию движения инструмента. К таким факторам можно отнести расположение станочных приспособлений для базирования и

закрепления заготовок, геометрию режущих и вспомогательных частей инструмента (рис. 10.4).

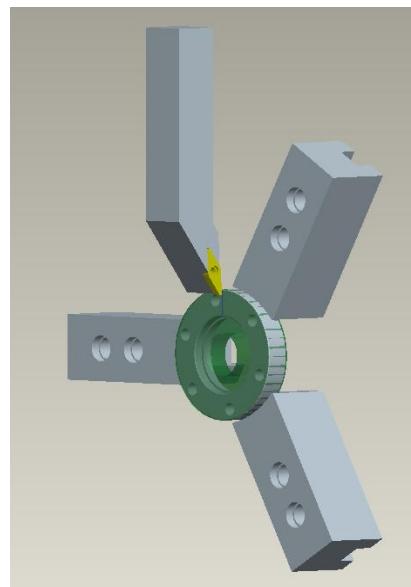


Рис. 10.4. Модель заготовки, приспособления и инструмента

Для того, чтобы учитывать эти факторы, необходимо иметь опыт написания управляющих программ и отработки их на оборудовании. Но даже при наличии такого опыта невозможно полностью учесть все нюансы обработки. Для наилучшего решения проблемы быстрого и качественного написания УП, учитывающей все эти особенности, необходимо наличие виртуальной библиотеки станочных приспособлений и инструмента.

Укрупненная структура библиотеки режущего инструмента представлена на рис. 10.5.



Рис. 10.5. Укрупненная структура библиотеки режущих инструментов

### 10.2.3 Основные этапы создания 3D-моделей режущего инструмента

Для разработки библиотеки твердотельного инструмента вначале необходимо установить структуру директории материалов и заполнить ее списком обрабатываемых материалов. После следует ознакомиться с механизмом определения и использования режимов резания инструмента в ProNC. Затем следует создать библиотеку параметров инструмента.

При создании библиотеки необходимо построить твердотельные модели инструментов в Pro/ENGINEER Part, далее задать требуемые параметры и создать атрибуты моделей.

Методика создания библиотеки твердотельного инструмента включает следующие этапы:

1. Установка структуры директории материалов. Для выбора режущего инструмента и установки подачи и скорости резания нужно настроить структуру директории, прежде чем начать определять операции и инструменты.
  2. Задание библиотеки параметров инструментов, в которой будут храниться все файлы параметров.
  3. Создание твердотельной модели инструмента.
  4. Задание необходимых параметров в модели инструмента.
  5. Создание системы координат в модели инструмента с определенным именем и ориентацией, которая будет центром инструмента, т.е. контрольной точкой инструмента. Эта точка, относительно которой будет производиться расчет траектории движения инструмента в NC последовательности.
  6. Передача модели инструмента в модель механообработки ProNC.
  7. Задание режимов резания для модели инструмента, соответствующим различным материалам заготовок (согласно материалам, заданным в директории материалов).
  8. Сохранение параметров инструмента и режимов резания.
- Pro/NC позволяет выбирать режущий инструмент и устанавливать подачи и скорости резания, базирующиеся на материале заготовки и его свойствах.
- Pro/NC хранит все данные режущего инструмента в директории инструментов, которая определяется опцией конфигурации `pro_mf_tprm_dir`. Например, нужно установить следующую опцию конфигурации:  
`pro_mf_tprm_dir /home/users/toolcrib` (рис. 10.6).

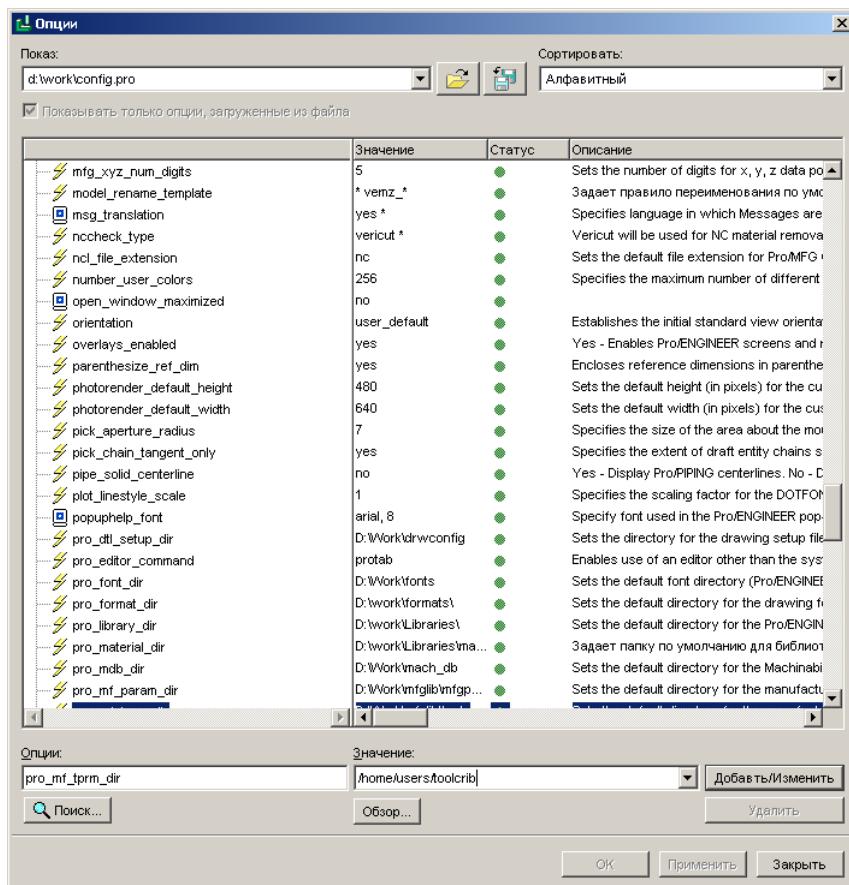


Рис. 10.6. Определение директории инструментов

Pro/NC будет размещать все файлы параметров инструмента (.tpm файлы) в директории /home/users/toolcrib.

Чтобы настроить структуру директории материалов, необходимо создать поддиректорию, присвоив ей название materials в директории инструментов.

В директории materials создать поддиректории, соответствующие материалам заготовки и их свойствам, например можно создать поддиректории steel20, steel30, aluminum и т.д.

Когда, впоследствии, определяется операция или инструмент, система вносит в список соответствующие поддиректории материалов для их выбора.

Когда сохраняются данные режущего инструмента, система сохраняет параметры геометрии инструмента в "\*.tpm" файле в директорию инструментов и создает "\*.tpm" файл с тем же именем, содержащим данные о подаче и скорости резания в соответствующей поддиректории материалов. Эти данные о подаче и скорости резания могут быть использованы при определении значений параметров мехобработки через отношения (уравнения).

*Примечание:* Если не определить опцию конфигурации pro\_mf\_tprm\_dir, система будет использовать текущую рабочую директорию, как директорию инструментов.

*Пример: Установка структуры директории материалов*

1. Определить директорию инструментов установив опцию конфигурации: pro\_mf\_tprm\_dir /home/users/toolcrib.

2. В директории toolcrib создать поддиректорию с именем materials.

3. В директории materials создать поддиректории для всех материалов и свойств. Например, создать три поддиректории: steel20, steel40, и aluminum.

Структура директории материалов будет построена. Теперь, если запустить Pro/ENGINEER, три поддиректории материалов будут внесены в списки, для определения операций (для материалов заготовки) и для определения режущих инструментов. Если, например, определить материал заготовки, как steel20 , и создать фрезерный инструмент с Name ball25 , структура директории выглядит, как представлено на рис. 10.7.

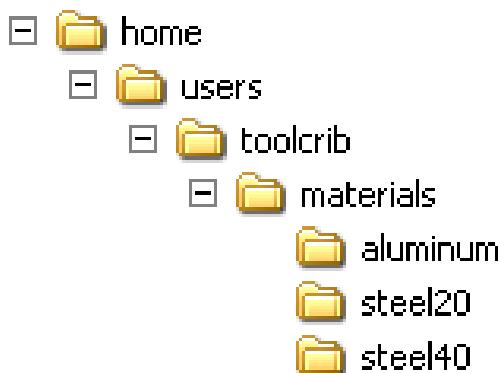


Рис. 10.7. Пример структуры директории материалов.

#### 10.2.4 Определение режимов резания инструмента

Процедура определения режимов резания инструмента объясняет, как связать с инструментом режимы резания, такие как подача, скорость, осевая и радиальная глубины, основанные на типе материала заготовки и ее свойствах. Можно использовать режимы резания, требуемые для инструмента, чтобы установить значения параметров механообработки. Вместо ввода режимов резания, можно

воспользоваться базой данных имеющихся инструментов и импортировать режимы резания для инструмента.

Для этого выполняются следующие процедуры.

- Нажать на закладку Speeds & Feeds (Данные реза) в диалоге Tool Setup (Настройки инструмента) (рис. 10.8).

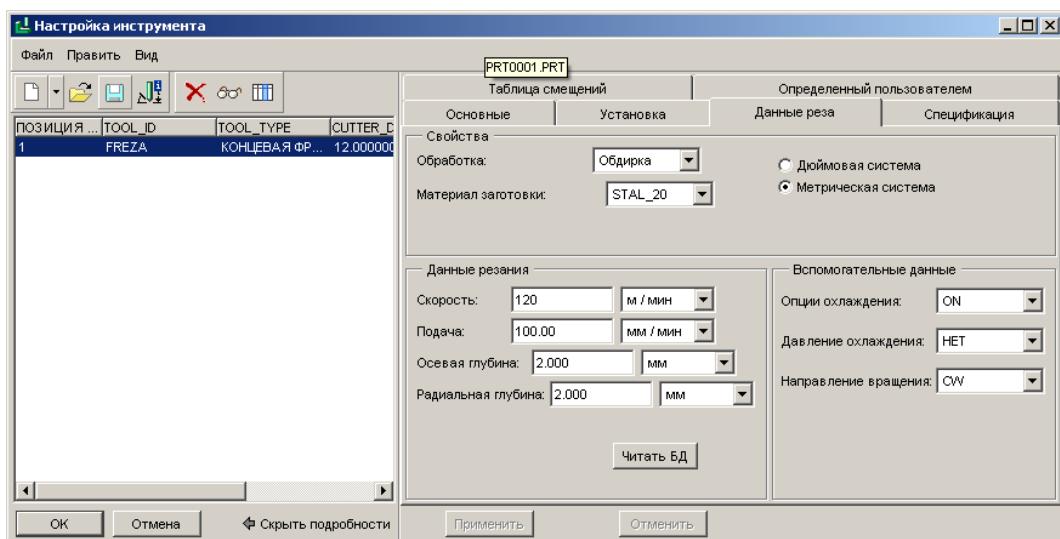


Рис. 10.8. Определение режимов резания для инструмента

2. Выбрать материал заготовки из списка Stock Material (Материал заготовки). Этот список будет соответствовать структуре директории материалов. Будут показаны значения, установленные по умолчанию, для материала заготовки, определенные в диалоге Operation Setup (Настройки операции).

3. Можно определить отдельно данные для черновой и чистовой обработки. Выбирать в Application (Обработка): Roughing (Черновая) или Finishing (Чистовая).

4. Ввести значения в текстовые окна для Speed (Скорость), Feed (Подача), Axial Depth (Осеная глубина), и Radial Depth (Радиальная глубина). Список, находящийся справа от каждого текстового окна, позволит изменять единицы измерения, по необходимости. Можно воспользоваться переключателем между «английской» и метрической системами измерения, выбрав соответствующую опцию в группе свойств Properties.

5. Повторить шаги 3 и 4 для второго режима резания (чернового или чистового) в Application (Обработка).

6. Сохранить инструмент. Система сохранит режимы резания в соответствующей поддиректории материалов, в файле <name>.tpm , где <name> имя инструмента Name.

7. Если нужно использовать режимы резания для другого материала заготовки, требуется повторить шаги со 2 по 6.

### 10.2.5. Использование режимов резания инструмента

Когда используется инструмент в NC последовательности, подача и скорость резания, сохраненные с инструментом, автоматически не используются, как подача и скорость резания NC последовательности. Когда устанавливаются параметры механообработки в диалоге Param Tree (Править параметры последовательности), можно нажать Edit (Править) > Copy From Tool (Копировать из инструмента) и выбрать копирование всех параметров All (Все), или только Speed (Скорость), Feed (Подача), или Depth (Глубина). Также можно выбрать значения параметров для Roughing (Черновой) или Finishing (Чистовой) обработки (рис. 10.9).

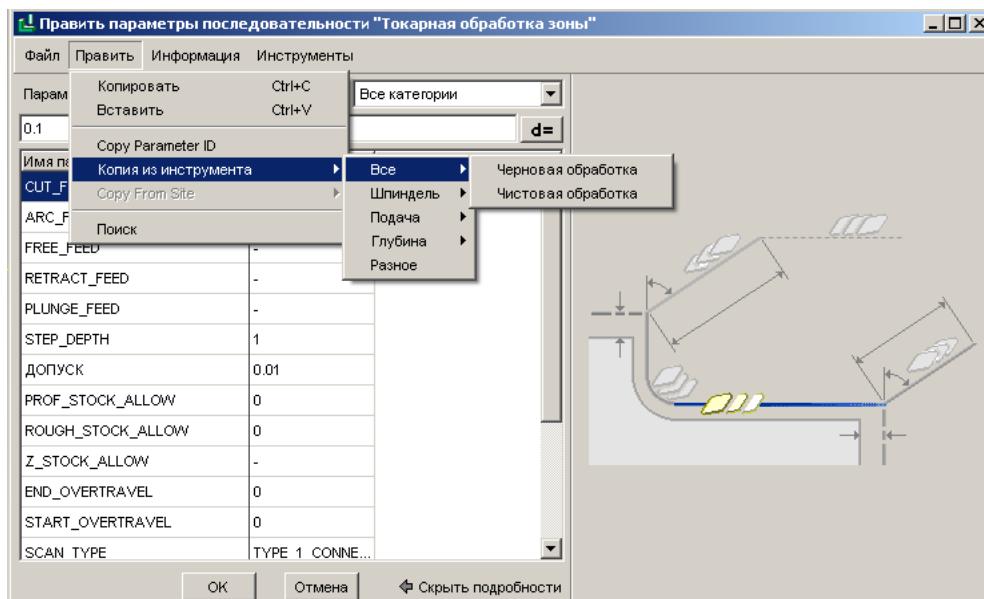


Рис. 10.9. Восстановление параметров обработки из инструмента

Можно также использовать следующий механизм, чтобы выбрать значения параметров подачи и скорости, сохраненные с инструментом, когда создается NC последовательность.

Все данные режимов резания, определенные в диалоге Tool Setup (Настройки инструмента), сохраняются как параметры инструмента. Для каждого типа данных существует два отдельных параметра, один для Roughing (Черновой) обработки и один для Finishing (Чистовой). Таблица 10.1 отображает параметры инструмента, соответствующие режимам резания инструмента.

**Таблица 10.1**  
Параметры инструмента, соответствующие режимам резания

Режим резания	Черновой - Roughing	Чистовой - Finishing
Скорость (об/мин)	TOOL_ROUGH_SPINDLE_RPM	TOOL_FINISH_SPINDLE_RPM
Скорость (ед.изм./мин)	TOOL_ROUGH_SURFACE_SPEED	TOOL_FINISH_SURFACE_SPEED
Подача (в мин)	TOOL_ROUGH_FEED_RATE	TOOL_FINISH_FEED_RATE
Подача (на зуб или на оборот)	TOOL_ROUGH_FEED_PER_UNIT	TOOL_FINISH_FEED_PER_UNIT
Осьевая глубина	TOOL_ROUGH_AXIAL_DEPTH	TOOL_FINISH_AXIAL_DEPTH
Радиальная глубина	TOOL_ROUGH_RADIAL_DEPTH	TOOL_FINISH_RADIAL_DEPTH

Когда создается NC последовательность, необходимо определить значения этих параметров инструмента, соответствующие параметрам механообработки, через отношения (уравнения). Так, можно определить подобное отношение:

$$\text{CUT_FEED} = \text{TOOL_ROUGH_FEED_RATE}$$

Эти отношения могут быть определены в файле шаблоне или определены как значения параметров непосредственно в дереве параметров для NC последовательности, например как определенное выше отношение " =TOOL\_ROUGH\_FEED\_RATE", как значение параметра CUT\_FEED.

Если изменить инструмент или режимы резания, соответствующие этому инструменту, значения параметров скорости и подачи, которыми управляет отношение, автоматически будут обновлены.

## 10.2.6. Библиотека параметров инструмента

Можно создать свою собственную библиотеку параметров инструментов, в которой будут храниться все файлы параметров инструмента. Библиотека инструментов будет доступна всем пользователям Pro/ENGINEER для применения инструментов в процессах механообработки, для модификации или установки новых инструментов. Используется следующая опция файла конфигурации, для установки пути к библиотеке:

```
pro_mf_tprm_dir pathname
```

Требуется всегда вводить полный путь к библиотеке инструментов в конфигурационном файле при работе с директориями Pro/ENGINEER. Например:

```
pro_mf_tprm_dir c:\ptc\proewildfire\toolcrib
```

## 10.2.7. Твердотельные модели инструментов в Pro/ENGINEER

*Wildfire 4.0*

Самая важная информация, которую необходимо передать модулю Pro/NC о инструменте, - это его параметры. Создание NC последовательности и последующее отображение траектории движения инструмента базируется на значениях параметров ".tpm" файла, соответствующего данному инструменту.

Однако можно улучшить отображение CL данных и интерактивно проверить траекторию движения инструмента, используя отображение "реального" инструмента (рис. 10.10).

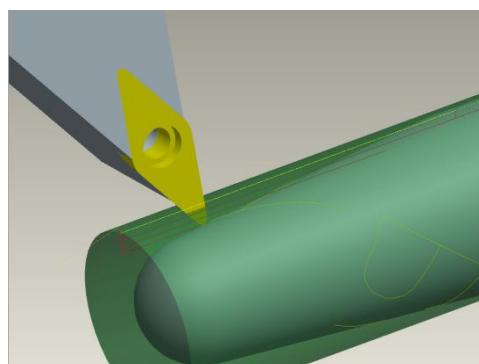


Рис. 10.10. Отображение CL данных с использованием твердотельной модели инструмента

Чтобы это выполнить, требуется создать инструмент как модель (part (деталь) или assembly (сборка)) Pro/ENGINEER и затем установить ассоциативные связи между размерами модели и Pro/NC параметрами инструмента. Когда используется такой инструмент, появляется возможность выбора его отображения в виде сечения или реальной модели (рис. 10.11). При этом предоставляется дополнительный способ создания библиотеки инструментов.

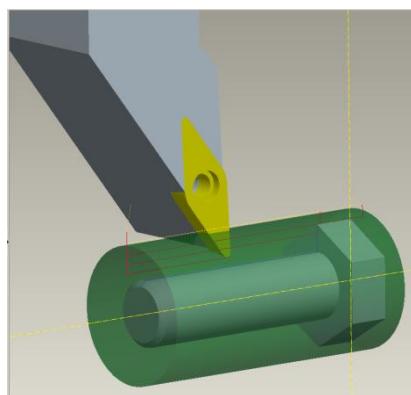


Рис. 10.11. Отображение инструмента в виде твердотельной модели

Создание модели инструмента включает следующие шаги:

1. Создать новую модель в Pro/ENGINEER типа Part (Деталь), присвоить ей имя инструмента. Построить модель инструмента, используя соответствующие конструктивные элементы (выдавливание, вырез, вращение и т.д.).
2. Создать систему координат, которая будет центром инструмента, т.е. контрольной точкой инструмента. Эта точка, относительно которой будет рассчитываться траектория движения инструмента в NC последовательности. Важно удостовериться, что Z-ось системы координат направлена в нужном направлении (внутрь инструмента) для фрезерного и сверлильного инструмента (рис. 10.12); для токарного инструмента, оси системы координат инструмента должны быть ориентированы так, чтобы они совпадали с направлениями осей системы координат NC последовательности, когда инструмент находится в положении по умолчанию. Присвоить системе координат инструмента имя TIP (используя Set Up (Настройки), Name (Имя)).

3. Установить ассоциативную связь между размерами модели и параметрами инструмента. Имеется два способа сделать это:

– Модифицировать соответствующие имена размеров так, чтобы они точно соответствовали названиям параметров. В меню PART, необходимо нажать Modify > DimCosmetics > Symbol. Выбрать элемент, для отображения его размеров, затем указать текст размера и ввести новое символическое имя, например, Cutter\_Diam.

– Добавить параметры модели с названиями, точно соответствующими названиям параметров инструмента. Этот метод удобен, когда требуется определить параметры инструмента непосредственно в сборке инструмента (например, Cutter\_Diam для вставляемого в сборку компонента сверла).

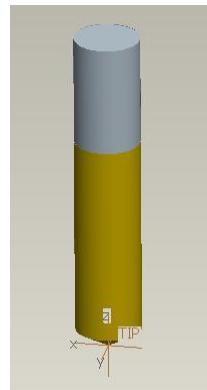


Рис. 10.12. Ориентация системы координат для осевого инструмента

*Примечание:*

– Имена параметров не чувствительны к регистру вводимых символов. Например, когда модифицируется размерный символ или добавляется параметр модели для Cutter\_Diam, можно использовать Cutter\_Diam, cutter\_diam, или CUTTER\_DIAM; система все равно воспримет его, как имя параметра инструмента.

– Если в качестве модели инструмента должна быть использована сборка, можно модифицировать символы размеров любой из составляющих сборку моделей или добавлять параметры любому компоненту, который относится непосредственно к сборке.

#### 10.2.8. Использование модели инструмента

Чтобы использовать модель инструмента в Pro/NC, необходимо восстановить инструмент при помощи опции Open Tool Library (Открыть библиотеку инструмента) (рис. 10.13). Система рассмотрит

модель инструмента и учетет соответствующие значения размеров в файле параметров инструмента.

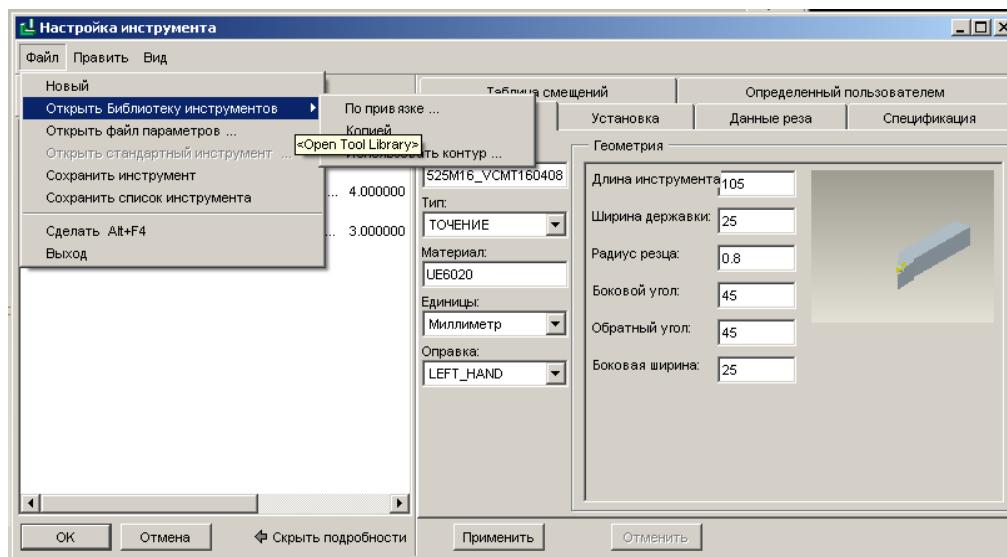


Рис. 10.13. Открытие инструмента из библиотеки

1. В меню диалога Tool Setup (Настройки инструмента), нажать File (Файл) > Open Tool Library (Открыть библиотеку инструмента).

*Примечание:* Необходимо удостовериться, что правильно выбран тип инструмента в выпадающем списке Tool Type (Тип инструмента) в диалоге перед восстановлением модели инструмента.

2. Выбрать By Reference (По привязке) или By Copy (Копией):

- By Reference (По привязке) – Будет установлена ассоциативная связь с моделью инструмента из библиотеки. Невозможно изменить параметры инструмента для определенной NC последовательности, при помощи диалога Tool Setup (Настройки инструмента). Если позже модель инструмента из библиотеки изменится, все данные механообработки будут обновлены после регенерации модели обработки.

- By Copy (Копией) – Информация об инструменте будет скопирована в модель механообработки. Параметры инструмента для NC последовательности могут быть изменены с помощью диалога Tool Setup (Настройки инструмента); модель из библиотеки не будет изменена. Если позже модель инструмента из библиотеки изменится, это не будет отражено в NC последовательности.

3. Выбрать имя инструмента в окне открытия файлов.

4. Система считает данные в параметры инструмента из модели (имя модели будет использовано, как Name инструмента). Система также вставит имена компонентов моделей и сборок в ВОМ таблицу модели инструмента, расположенную на закладке ВОМ (Спецификация) диалога Tool Setup (Настройки инструмента).

Если для создания NC последовательности была использована модель инструмента, то всякий раз, когда отображается на экране траектория движения инструмента и сам инструмент, появятся дополнительные две опции:

- Disp Model (Показ модели) – Использовать геометрию модели инструмента при отображении CL данных.

- No Model (Отображаете сечения) – Отображаете на экране сечение заданного по умолчанию инструмента, в зависимости от значений параметров инструмента.

Если имеется одна и та же обрабатываемая модель, отображаемая в разных окнах, инструмент и траектория движения инструмента модернизируются одновременно во всех окнах, если они изменяются.

*Примечание:* Если система координат TIP отсутствует в модели, система выдаст сообщение об ошибке и отобразит на экране заданный по умолчанию инструмент. Если разные системы координат, названные TIP, будут найдены в модели инструмента, будет выдано предупреждение; центр координат инструмента будет выбран согласно порядку извлечения параметров инструмента из сборки инструмента (например, система координат сборки будет иметь больший приоритет).

Если в качестве модели инструмента используется сборка, система будет искать сначала сборку, а затем все составляющие модели в том порядке, в каком они были собраны (то есть, первый компонент будет найден первым), для получения данных о параметрах инструмента и о центре инструмента. Как только параметр будет установлен, все значения этого параметра, найденные позже, будут игнорироваться. Другими словами, параметры сборки верхнего уровня имеют приоритет перед параметрами компонентов и т.д., как определено порядком сборки.

Если после определения всех компонентов некоторые из параметров будут отсутствовать, появится сообщение об ошибке и система попросит выбрать другой инструмент.

### **10.2.9. Твердотельный инструмент для токарной обработки**

В токарной обработке можно воспользоваться опцией, позволяющей применять геометрию модели инструмента для вычисления автоматического удаления материала и проверки на зарезы. Эта функциональная возможность позволяет установить специфический инструмент и определить режущие кромки, которые будут соответствовать специфическим комбинациям инструмент/державка.

Когда определяется, что необходимо применить контур инструмента, система будет использовать при вычислении траектории движения инструмента всю конфигурацию инструмента. Эта опция подобна использованию модели инструмента по ссылке By Reference (По привязке), потому что можно изменять сечение инструмента только путем модификации геометрии модели инструмента.

Модель инструмента для использования этих функциональных возможностей создается согласно правилам создания твердотельной модели инструмента:

- Это может быть модель или сборка в среде Pro/ENGINEER.
- Она должна содержать систему координат с именем "TIP", для указания расположения контрольной точки инструмента.
- Для модели инструмента требуется определить только один геометрический параметр инструмента NOSE\_RADIUS (рис.6.14), требуемый для вычисления удаления материала. Можно задать этот параметр, используя параметр модели или используя символ размера. Также можно добавлять параметры к модели, чтобы задать значения для негеометрических параметров (типа TOOL\_COMMENT или GAUGE\_X\_LENGTH). Если в качестве модели инструмента используется сборка, можно применять для этих целей параметры как модели, так и сборки. В отличие от обычных функциональных возможностей модели инструмента, нельзя определять геометрические параметры (типа TOOL\_WIDTH, LENGTH (рис.

10.14)), т.к. контур инструмента будет зависеть непосредственно от геометрии модели инструмента.

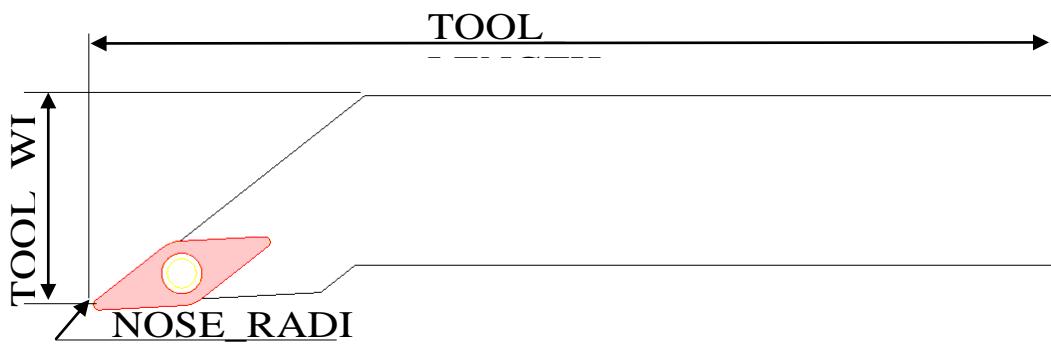


Рис. 10.14. Геометрические параметры инструмента

Геометрия инструмента будет определена путем проецирования внешнего профиля всех компонентов модели инструмента на XZ системы координат "TIP". Этот спроектированный контур инструмента будет использован для того, чтобы удалить материал, а также исключить зарезы обрабатываемой модели контуром инструмента.

Если моделью инструмента является сборка, можно указать, какая часть инструмента будет фактически использована для удаления материала, применив параметр `solid_tool_cutting` типа Yes/No на уровне моделей. Если этот параметр установлен как Yes для некоторой модели в сборке, контур этой модели будет использован в качестве режущей кромки.

Все другие грани в сборке будут восприняты как нережущие. Можно задать значение зазора, чтобы избежать контакта между нережущей геометрией инструмента и материалом зоны обработки, используя параметр `TOOL_CLEARANCE`. Этот параметр определяет, как близко нережущие кромки могут приблизиться к материалу зоны обработки.

#### **10.2.10. Использование настраиваемого инструмента при сверлении**

Если требуется использовать ссылочную модель инструмента - By Reference (по привязке), следует установить все параметры, которые требуются Pro/NC для определения соответствующего

инструмента. При сверлении можно использовать уже установленные инструменты, которые для этой операции описаны упрощенно. Pro/NC предоставляет возможность упрощать определение сверл.

При сверлении Pro/NC требует определения следующих параметров инструмента для генерации траектории движения и вывода CL данных:

- Cutter\_Diam – диаметр режущего инструмента, который используется для вычисления глубины в автоматических циклах.
- Tip\_Offset – расстояние от контрольной точки (tip) инструмента до "плеча" (где начинается Cutter\_Diam).
- Length – длина инструмента.
- Csink\_Angle – для инструмента с углом при вершине, определяют полученный в результате угол фаски.

Когда вызывается модель сверла, система находит параметр TIP\_OFFSET и использует его для упрощенного представления. Поэтому, при определении модели твердого тела инструмента для сверления, можно определить только параметры, указанные выше, и систему координат TIP, и использовать эту модель как By Reference (По привязке) для NC последовательностей сверления.

### 10.2.11. Пример создания токарного инструмента

При создании 3D-моделей режущего инструмента на примере токарных резцов учитывались следующие факторы:

1. Токарный резец – это, в большинстве случаев, сборочная единица, поэтому державку и пластины необходимо создавать отдельно и затем собирать в сборку [51-53].

2. Для державки и пластины создаются свои параметры, необходимые для конкретной работы и отображения инструмента. При создании державок нужно задать два параметра (рис. 10.15).

TOOL_MATERIAL	Строка	VP15TF	<input type="checkbox"/>	Полн...	Определ...
VERICUT_TYPE	Строка	HOLDER	<input type="checkbox"/>	Полн...	Определ...

Рис. 10.15. Параметры, задаваемые для державки

Параметр TOOL\_MATERIAL предназначен для передачи данных о материале, VERICUT\_TYPE - для передачи геометрии инструмента в систему VERICUT.

При создании пластин необходимо задать систему координат с названием TIP, при этом центр системы координат должен совпадать либо с режущей кромкой, либо с центром округления в случае наличия его на режущей кромке (рис. 10.16).

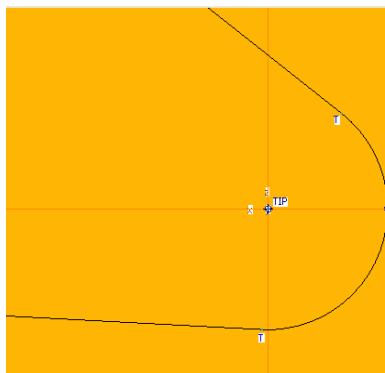


Рис. 10.16. Расположение осей TIP

3. Ось X должна быть расположена параллельно державке и быть направлена в сторону режущего инструмента.

4. Ось Z должна быть направлена от режущей кромки перпендикулярно оси X и расположена параллельно движению резания.

5. Ось Y получается как правая тройка векторов XYZ.

Параметры, задаваемые для пластин, представлены на рис. 10.17.

TOOL_MATERIAL	Строка	VP15TF	<input type="checkbox"/>	Полн...	Определ...
VERICUT_TYPE	Строка	TOOL	<input type="checkbox"/>	Полн...	Определ...
TOOL_ORIENTATION	Веществ...	0.000000	<input type="checkbox"/>	Полн...	Определ...

Рис. 10.17. Параметры, задаваемые для пластин

Назначение параметров TOOL\_MATERIAL и VERICUT\_TYPE такие же, как и для державок. А параметр TOOL\_ORIENTATION используется для задания рабочего положения инструмента относительно оси z.

Рассмотрим пример создания виртуальной 3D-модели токарного канавочного резца DGHR2525M (рис. 10.18), включающего следующие детали:

- пластина DGM30CE VP20MF,
- прихват DGK3R,
- локатор EB3R,
- крепежный винт DGS51,
- винты локатора HSC05012.



Рис. 10.18. Канавочный резец DGHR2525M

### *Создание державки*

Необходимо выдавить эскиз (рис. 10.19).

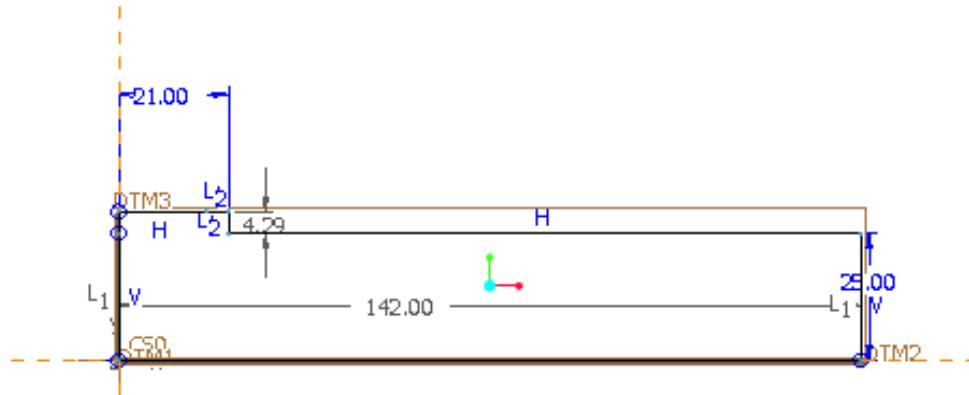


Рис. 10.19. Эскиз державки для выдавливания

На боковой поверхности создается новое выдавливание (рис. 10.20).

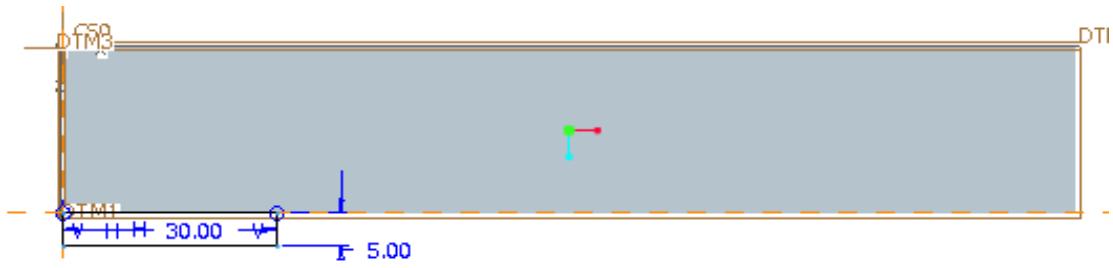


Рис. 10.20. Эскиз 2 для создания державки

Полученная 3D-модель державки представлена на рис. 10.21.

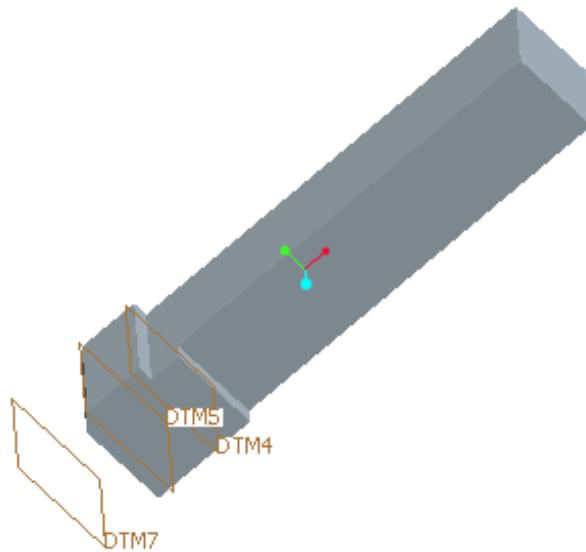


Рис. 10.21. Созданная виртуальная 3D-модель державки

### *Создание пластины*

Создается эскиз для выдавливания (рис. 10.22).

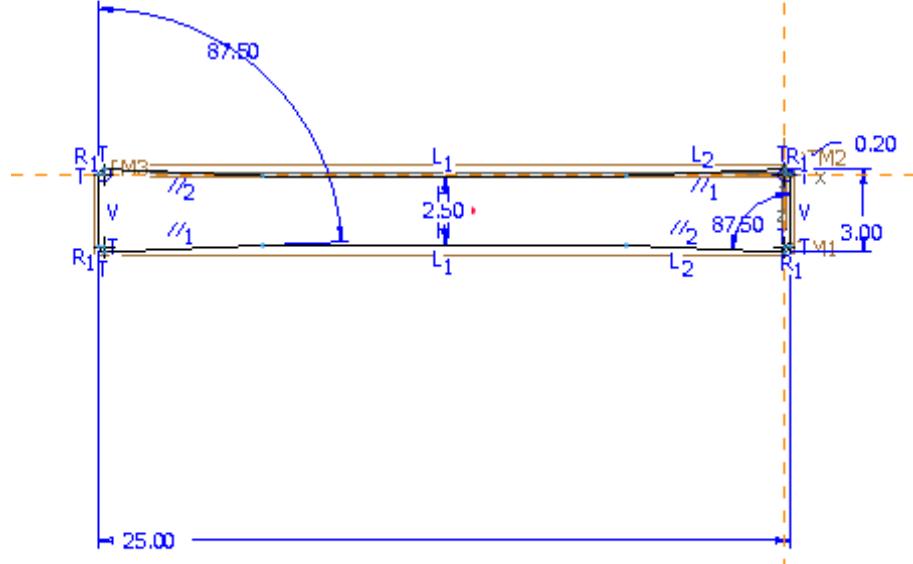


Рис.10.22. Эскиз для выдавливания пластины

Создается эскиз для вычитания на торцевой поверхности детали (рис. 10.23).

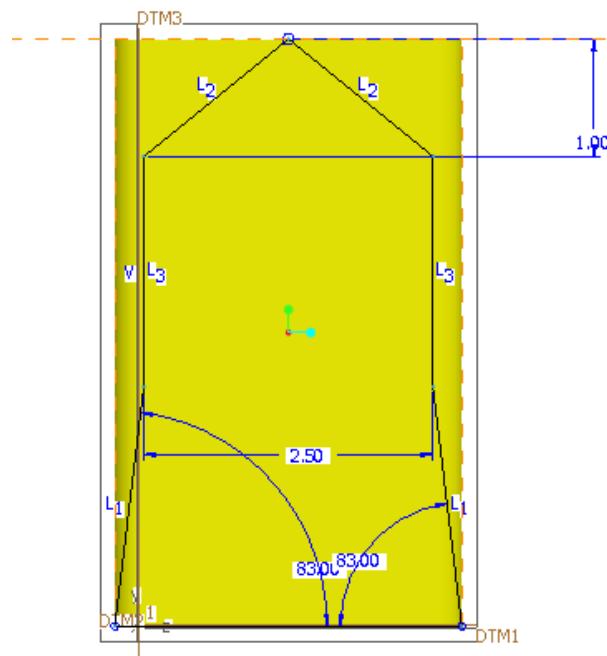


Рис. 10.23. Эскиз для применения операции «вычитание»

Далее, необходимо создать эскиз на боковой поверхности и вычесть его (рис. 10.24).

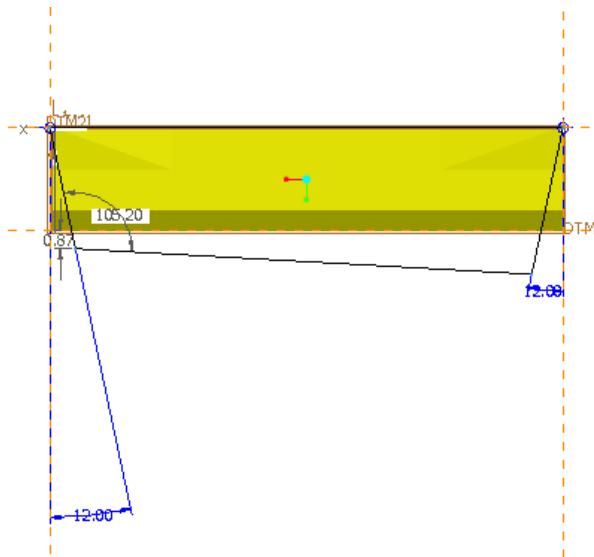


Рис. 10.24 Эскиз

Созданная 3D-модель пластины представлена на рис. 10.25.

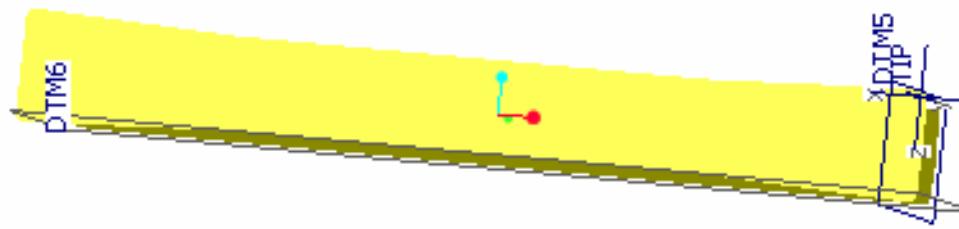


Рис. 10.25. 3D-модель режущей пластины

### *Создание сборочной единицы*

В PRO/Engineer выбирается тип сборки и подтип конструкции. Вставляется компонент в сборку путем нажатия кнопки «Добавить компонент в сборку». В панели «Вставка» выбирается во вкладке «Размещение» – «Тип закрепления», «Система координат» и указывается система координат вставляемой детали и создаваемой сборки. Вставка державки продемонстрирована на рис. 10.26.

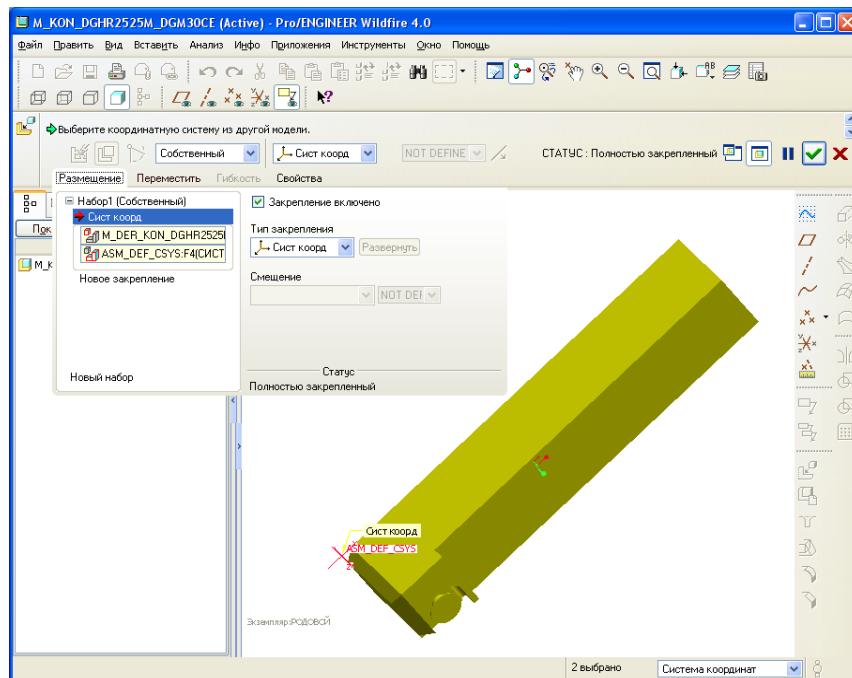


Рис. 10.26. Вставка державки

Затем целесообразно вставить предварительно созданную 3D-модель прихвата (рис. 10.27). В качестве поверхностей для первого сопряжения указывается нижняя поверхность прихвата и верхняя

поверхность державки. В качестве второго сопряжения указывается передняя грань прихваты и созданная плоскость DIM 5. Третье сопряжение выравнивает боковые поверхности державки и прихваты.

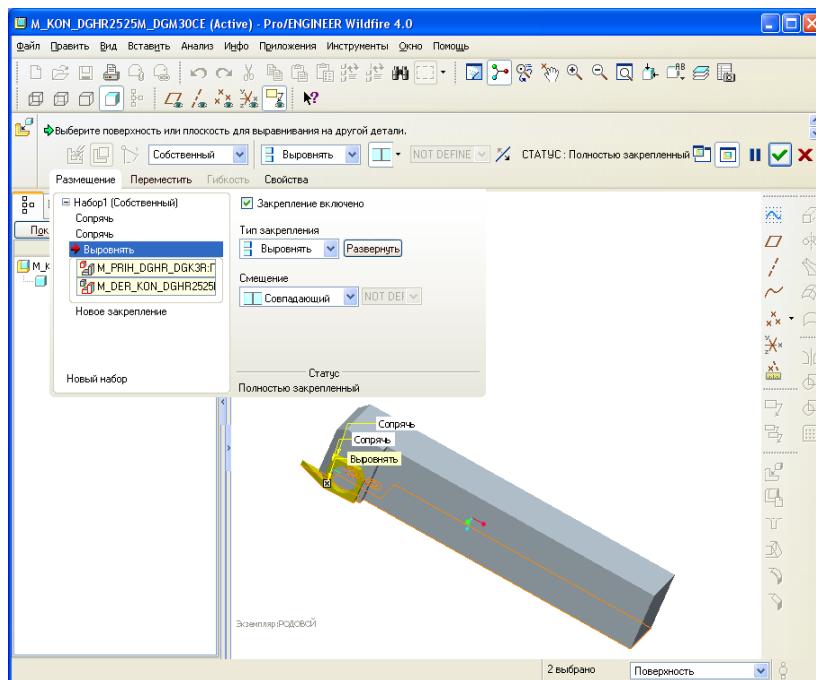


Рис. 10.27. Вставка 3D-модели прихваты

Следующий этап формирования сборки - вставка 3D-модели локатора. Используется одна привязка по боковым сторонам локатора и державки.

При вставке 3D-модели режущей пластины целесообразно в качестве первого сопряжения использовать сопряжение между передней гранью локатора и плоскостью DIM5 пластины. Второе сопряжение - между одной из нижних граней пластины и соответствующей прорезью локатора, третье сопряжение - между боковыми гранями пластины и локатора. Затем вставляются 3D-модели винтов.

В дальнейшем производится вычитание деталей с использованием команды Править/Действия с компонентами/Вычесть. В качестве поверхности, из которой будут вычитаться элементы, выбирается державка, в качестве поверхностей для вычитания выбираются локатор, винты и прихват. Полученная виртуальная 3D-модель резца представлена на рис. 10.28.

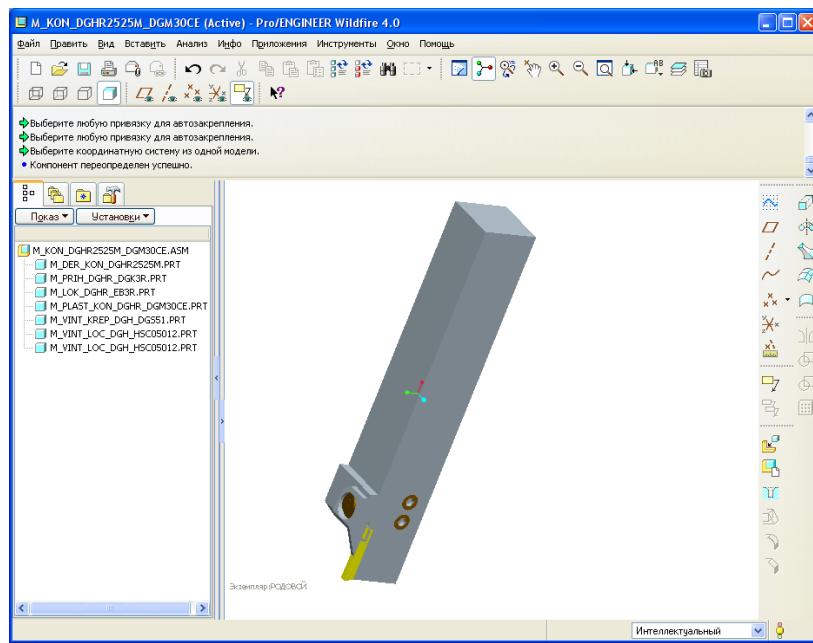


Рис. 10.28. Сборочная 3D-модель резца

### 10.2.12. Примеры токарного инструмента, включенного в библиотеку

Ниже приведены примеры разработанных инструментов, используемых при разработке технологий изготовления научноемких изделий на станках с ЧПУ.

**Проходной резец с круглой пластиной PRDCN2525M12** (рис. 10.29, 10.30, 10.31)

Характеристика:

- Державка LL- типа.
- Крепление рычажного типа.
- Стандарт ISO.
- Применяется для чистовой и полу чистовой обработки.
- Экономичная пластина с отрицательным задним углом.

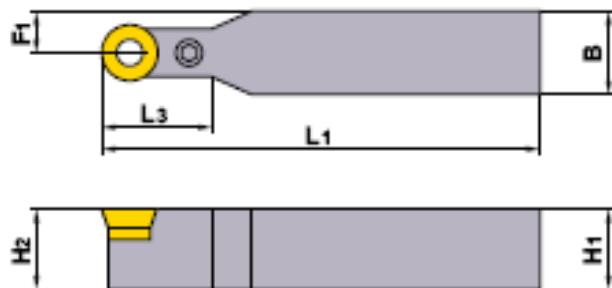


Рис. 10.29. Чертеж резца

**Таблица 10.2**  
Размерные характеристики резца

Размеры (мм)					
H1	L1	3	B	H2	F1
25	150	4	25	25	12.5

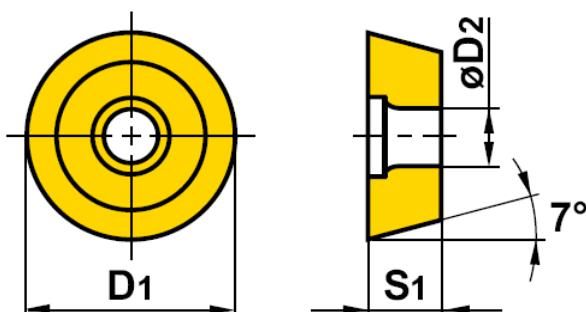


Рис. 10.30. Чертёж пластины

**Таблица 10.3**  
Размерные характеристики пластины

Размеры (мм)		
D1	S1	D2
6,35	3,18	0,03

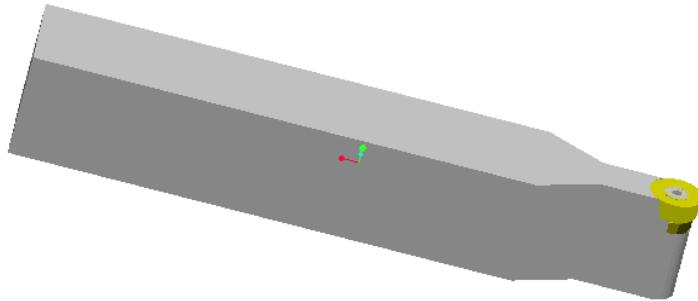


Рис. 10.31. 3D-модель резца

### Расточкой резец *MICRO-MINI TWIN* (рис. 10.32-10.36)

Характеристики:

- Минимальный диаметр обрабатываемого отверстия 3,5 мм.
- Цельный твердосплавный тип с двумя режущими кромками.
- Режущая кромка может настраиваться в соответствии с назначением, поэтому может использоваться для широкого спектра обработки (резьбонарезания, протачивания канавок, копирования)

- Особенности обработки:
- Режущая кромка не должна пересекать среднюю ось заготовки. (В случае пересечения режущей кромкой средней оси заготовки может возникнуть обломок режущей кромки).
- Глубина резания должна быть меньше радиуса острия. (Если глубина резания больше радиуса острия, то это может привести к образованию заусенца).

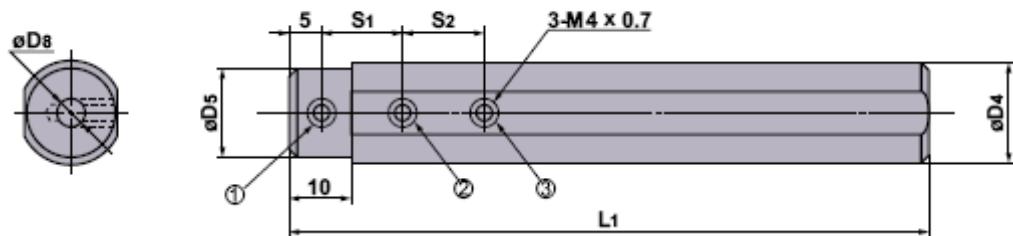


Рис. 10.32 . Чертёж державки

Таблица 10.4

## Размерные характеристики державки

Размеры (мм)					
D4	D8	D5	L1	S1	S2
20	5	14	125	15	15

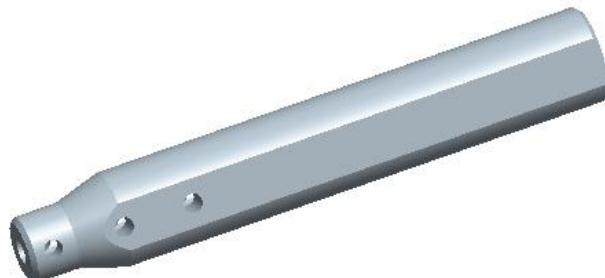


Рис. 10.33. 3D-модель державки

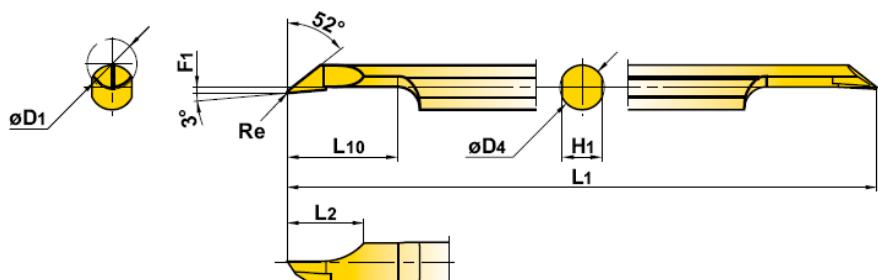


Рис. 10.34. Чертёж пластины

**Таблица 10.5**

Размерные характеристики пластины

Размеры (мм)							
D1	Re	D4	L1	L10	L2	F1	H1
3,5	0,1	3	50	8	6	0,15	2,7

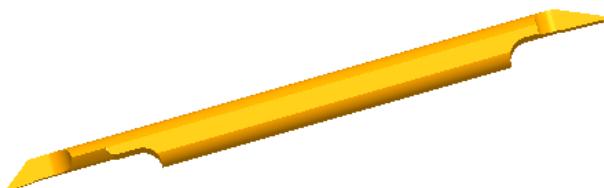


Рис. 10.35. 3D-модель пластины

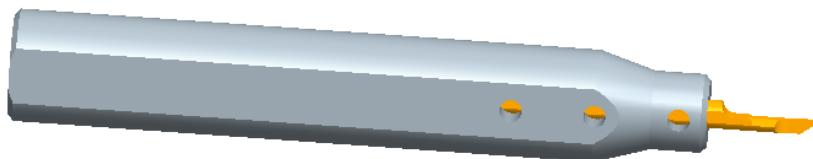


Рис. 10.36. 3D-модель резца

### **10.3. РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ**

#### **10.3.1. Анализ современных автоматизированных систем верификации и выбор оптимальной для создания виртуальных моделей технологического оборудования с ЧПУ**

##### *10.3.1.1. Применение систем симуляции в компьютерном интегрированном производстве*

В настоящее время в компьютерном интегрированном производстве (КИП – Computer Integrated Manufacturing) идет быстрое развитие современных информационных технологий. Одними из развитых систем, базирующихся на передовых достижениях в области компьютерной графики, являются системы

симуляции. Рассмотрим особенности применения этих систем для оптимизации процесса механической обработки.

В условиях постоянно возрастающей конкуренции, когда предъявляются жесткие требования к гибкости производства и разнообразию продукции, симуляция имеет большое значение как инструмент для проектировщика и производителя. Симуляция открывает широкие возможности по созданию реальных комплексных систем, проведению анализа и оптимизации их структуры и свойств на компьютере. С помощью этих систем можно анализировать альтернативные возможности планирования и сравнивать их на основе экономических показателей. Оптимизация при помощи систем симуляции имеет большой потенциал на всех этапах проектирования и использования технологического оборудования. Основные требования к таким системам заключаются в том, что моделирование процесса и его отдельных элементов должно быть простым и по возможности непродолжительным. В настоящее время для этого широко применяется графическая поддержка, дающая возможность графически представить технологический процесс изготовления изделия на основе моделируемой технологической системы.

Традиционно, симуляция применяется для поддержки проектирования новых продуктов, но может быть использована и для оптимизации уже имеющихся продуктов – с помощью анализа их взаимосвязей. Продуктом может являться как отдельный станок, так и гибкая производственная система с многочисленными компонентами. В отличие от стандартных методов проектирования, технология симуляции дает возможность варьировать различные параметры модели. Так, еще на стадии проектирования можно на мониторе компьютера проверить пригодность робота для присоединения к станку, показать его графическое изображение, возможные перемещения, что позволяет определить колебание его частей и рабочее пространство.

Второй областью применения симуляции является графическое моделирование процесса механической обработки изделия. Целью графико-динамической симуляции процесса обработки на станках с ЧПУ является проверка программы управления на логические ошибки и их устранение. В результате применения систем симуляции на этапе проектирования выявляются возможные повреждения

инструмента, приспособления или станка. Это имеет большое значение при производстве многовариантных продуктов, где имеющиеся программы ЧПУ могут изменяться без применения целевого станка в цехе. В таких случаях можно проверить на компьютере большое количество программ без прерывания процесса обработки для тестирования, что значительно сокращает время подготовки производства.

Развитие современной компьютерной графики дало возможность значительно улучшить визуальное представление перемещающихся частей технологической системы, а применение объемного моделирования в системах симуляции позволяет осуществлять движения станка в реальном времени.

#### *10.3.1.2 Сравнительный анализ возможностей современных автоматизированных систем верификации*

Графическая верификация управляющих программ – мощный инструмент для визуальной проверки и отладки траектории движения инструмента и технологических команд еще до выхода на станок. Многочисленные реализации метода, безусловно, различны, однако на сегодня общепринято твердотельное моделирование G-кода (т.е. кадров УП), покадровое моделирование, окна, сечения, вращение заготовки, расчет времени отработки программы, оптимизация режимов резания, расчет соударений инструмента с деталью. Рассмотрим современные средства верификации.

1. Компания Predator Software Inc известна в России и используется многими компаниями. Модуль "Virtual CNC" - один из явных лидеров в своем классе. Верификатор CL-файлов или G-кодов для программ, начиная от 2,5 до 5 координатной обработки. Встроенная библиотека, описывающая языки программирования 100 систем с ЧПУ. Функции обнаружения ошибок в УП (соударение с деталью или частями станка с ЧПУ).

2. Компания LightWork Design Ltd известна в России меньше, чем компания Predator. Модуль "MachineWorks" – также лидер в классе верификаторов. Имеет хорошие возможности графической верификации фрезерной (до 5 координат) или токарной (до 4 координат) обработки. Симуляция обработки на двухшпиндельных станках, библиотеки образов стандартных инструментов. Выделение

областей, которые не могут быть обработаны. Контроль соударений фрезы с деталью.

3. Линейка программных продуктов VeriCUT фирмы CGTech. Имеются средства для верификации 3-х координатной обработки (Verification), 4-5 координатного фрезерования, точения, сверления(Multi-Axis), оптимизации режимов резания (OptiPath) и анализа соударения инструмента и деталей или станка (Machine Simulation). Модули работают как с G-кодами, так и CL-файлами некоторых CAD/CAM систем (Pro/E,Catia и т.д.).

4. Модуль MetaCut View. Широкие возможности визуального и логического контроля G-кодов. Предназначена для непосредственной проверки и анализа текстов УП или G-кодов, может работать в среде Mastercam, и как самостоятельная программа.

5. NCSIMUL 8.4. Это пакет визуализации, верификации и оптимизации всех процессов обработки на станках с ЧПУ. Его производит компания SPRING TECHNOLOGIES(Франция). Редактирование и оптимизация управляющих программ для станков с ЧПУ в системе "станок-приспособление-инструмент-заготовки". NCSimul - это визуализация снятия материала, гарантированное выявление ошибок обработки и их устранение, визуализация и анализ детали, оптимизация скорости обработки, редактирование программы с одновременной визуализацией изменения работы режущего инструмента, оптимизация траектории движения инструмента.

OPTITOOL помогает правильно выбрать инструмент в зависимости от характеристик станка, используемого материала и типа обработки. Эта функция позволяет пользователю оптимизировать подачу инструмента и скорость работы в ISO-программе в соответствии с количеством удаляемого материала, а также высоту и ширину резки и тип движения инструмента.

VERIFY принимает данные из любых CAD/CAM-систем. Этот модуль позволяет легко определить станок и рабочую среду. Имеется возможность добавлять в библиотеку инструменты, созданные в CAD-системе или в других модулях NCSimul. NCSimul может работать как в интерактивном, так и в групповом режиме, что позволяет определить неправильный ход инструмента и выявить коллизию между частями станка.

6. NCEDITOR – это графический редактор программ для станка с ЧПУ, который используется для редактирования траектории

режущего инструмента. NCEDITOR позволяет удалять выбранные отрезки траектории инструмента, а также копировать, вставлять, изменять направление обработки выделенного отрезка траектории инструмента.

7. Компания Tudor Imports/Exports Ltd. Модуль CutViewer выполняет все традиционные функции визуальной верификации G-кодов. К особенностям реализации можно отнести верификацию как G-кодов, так и CLS-файлов системы UNIGRAPHICS и APT-CL файлов. Кроме того, это возможность проводить в любой точке (кадре) ряд измерений (чистота поверхности, измерения углов, параметры отверстий, параметров контрольных точек формируемой детали в сечении вертикальной плоскостью).

8. Компания IMService. Модуль NC Verify CAM-системы VECTOR выполняет функцию визуальной верификации G-кодов. Модуль разработан на технологии OpenGL. Используются 3D-графика, мягкие текстуры, тени, освещение.

9. Компания Servocon Ltd. Модуль G-Code Debugger выполняет функцию покадрового отладчика G-кода, в котором реализованы функции пошаговой отладки, установка контрольных точек, выполнение отладки с определенного кадра. Отладчик интегрирован с модулем Graphics Indication, выполняющим каркасное 2-3D и твердотельное моделирование.

#### *10.3.1.3. Преимущества VeriCUT перед встроеными модулями верификации CAM-систем*

Проверка траектории движения инструмента и её оптимизация являются двумя лучшими способами, с помощью которых можно значительно улучшить технологию и сэкономить деньги, затратив при этом небольшие усилия.

Имеется возможность использовать проверку программ, встроенную в CAM-системы, но не всё программное обеспечение обеспечивает равноценную проверку. Единственная ошибка может привести к браку детали, поломке режущего инструмента, поломке станка или даже к производственной травме. В каждую CAM-систему сегодня входит модуль симуляции движения режущего инструмента. Встроенные системы ограничены использованием собственного формата УП, которая затем транслируется (возможно, даже не один

раз) в формат стойки ЧПУ перед выходом на станок. Проверка траектории движения инструмента внутренним симулятором САМ-системы — это часть процесса программирования, которая не может устраниТЬ необходимость симуляции УП в кодах станка. Симуляция траектории инструмента в нейтральном формате (называемом CLDATA) может резко отличаться от того, что реально будет происходить на станке. Одной из причин ограничения функциональности внутренних симуляторов является также тот факт, что CAD/CAM-системы часто используют симуляторы от стороннего производителя, вследствие чего разработчики основной системы не могут в полной мере повлиять на разработку подсистемы-симулятора. Даже если разработка собственная, на развитие функций контроля затрачивается мало времени, поскольку основные ресурсы разработки сфокусированы на собственных проблемах CAD/CAM. Еще одним аргументом в пользу VeriCUT является возможность использовать одну систему для контроля траекторий, полученных в различных САМ-системах, а также программ в G-кодах, написанных вручную. На многих производствах уже давно существует практика организации отдельных рабочих мест для контроля всего потока УП, направляемых в цех. Это позволяет максимально использовать САМ-систему, основным предназначением которой является проектирование траектории движения инструмента. Даже если VeriCUT установлена на рабочем месте программиста, ее работа не блокирует САМ-систему. Во время проверки УП программист может создавать или редактировать траектории в САМ-системе, не боясь пропустить ошибку, поскольку VeriCUT по завершении работы выдаст полный отчет. Кроме того, эта система обладает рядом дополнительных функций, существенно расширяющих область ее применения.

Сравнение специализированной системы верификации с типовым встроенным модулем верификации САМ-системы приведено в табл. 10.6.

**Таблица 10.6**

Сравнение специализированной системы верификации VeriCUT со встроенным модулем верификации CAM-системы

<b>Сравниваемый фактор</b>	<i>VeriCUT</i>	<i>CAM-модуль</i>
1	2	3
1. Способность проверять G-коды.	Может проверять G-коды.	Интегрированные модули проверки CAM-систем ограничены проверкой внутреннего CAM-файла, который затем один или несколько раз преобразуется перед запуском на станке. Внутренняя проверка является действительно частью процесса программирования, но она не заменяет потребность в реальном моделировании поспроцессированного NC-кода.
2. Проверяемая траектория движения инструмента.	Проверяет траекторию инструмента, заданную управляющей программой в кодах станка	CAM-система проверяет свою собственную траекторию движения инструмента.
3. Лицензирование технологии.	Специализируется на верификации обработки изделий	Только часть периода разработки посвящена непосредственно программе проверки, основной упор - на программном обеспечении CAD/CAM-системы.
4. Моделирование реального режима обработки и технологического процесса.	Программное обеспечение VeriCUT предназначено для моделирования и проверки и является наиболее полнофункциональным и доступным решением. Есть возможность моделирования полностью условий обработки, включая: многокоординатные и ускоренные перемещения, различные	Не имеет возможности моделирования реального процесса обработки. Обычно имеющиеся инструменты верификации очень скучны. Нет возможности моделирования сложной обработки в несколько сессий

Окончание табл. 10.6

Сравниваемый фактор	VeriCUT	CAM-модуль
1	2	3
	наладки, комплексный инструмент, столкновения с патроном, столкновения с прижимами и приспособлениями, кинематику станка, различные функции системы ЧПУ и т.д.	
5. Возможность внутренней программы проверки проверить результаты работы других CAM-систем.	Использование VeriCUT позволяет использовать ту же самую систему для проверки траектории перемещения инструмента из любой CAM-системы, а также вручную написанных программ. Происходит достижение согласованной, заслуживающей доверия проверки одновременно всех CAM-систем	Внутренняя система не может проверить код, изменённый вне CAM-программы
6. Цель программного средства.	Система VeriCUT специализируется на выполнении верификации обработки и отладке УП	CAM-система должна выполнять то, для чего она разработана и приобретена: формировать траектории движения инструмента

VeriCUT имеет ряд уникальных инструментов и возможностей:

- Полное моделирование оборудования с ЧПУ для проверки конфликтов. При моделировании VeriCUT управляет такой же управляющей логикой и данными, которые управляют станком, поэтому то, что происходит на экране монитора, будет происходить и на станке.
- Сравнение детали после обработки на станке с оригинальной моделью. Таким образом, можно узнать, что деталь, сделанная на станке, будет той деталью, которая была спроектирована.
- Оптимизация траектории перемещения инструмента. Изменение запрограммированных подач до такой степени, что

программы станут быстрее и эффективнее, вследствие чего уменьшится износ режущего инструмента и улучшится чистота обработки поверхности. VeriCUT является единственным решением для проверки и оптимизации NC-данных, которое может использоваться со всеми станками с ЧПУ.

– Экспорт CAD-модели после обработки на станке. Данная опция закрывает цикл обработки на станке, посредством повторного переноса детали, обработанной на станке, в систему автоматизированного проектирования для построения сопрягаемых деталей, определяющих последующие операции обработки и т.д.

#### *10.3.1.4. Симуляция в системе VeriCUT*

Во время симуляции обработки текущее состояние заготовки постоянно обновляется во внутренней базе данных системы, поэтому пользователь может в любой момент остановить работу УП, переместить или повернуть модель заготовки для более наглядного представления либо выполнить другие действия по анализу, а затем возобновить обработку с текущего кадра. Не всякая система позволяет манипулировать моделью во время обработки, но в среде VeriCUT можно не только вращать модель детали и измерять расстояния и высоту гребешка, но и контролировать деталь на зарезы и недорезы.

Таким образом, пользователь получает полное и своевременное представление о текущем состоянии заготовки. С помощью упомянутой базы данных в VeriCUT решена проблема обработки детали за несколько установок. На любом этапе обработки модель заготовки можно сохранить, а затем использовать для последующих операций. Пользователь может управлять процессом симуляции как интерактивно, так и по заданным условиям. Так, обработка может продолжаться до ошибки, смены инструмента, заданного текста в УП, на определенное количество кадров и т.п. Во время симуляции на экран можно вывести любую информацию о ходе обработки. В самых важных или в подозрительных местах траектория инструмента может быть выведена на экран в виде линий с одновременным отображением текста УП и отчета о допущенных ошибках.

Указав на экране обработанную область, система автоматически подсветит соответствующий кадр УП и выдаст сообщение об ошибке, если таковая имеется.

При обработке деталей на сложных многокоординатных станках направление оси инструмента постоянно меняется, вследствие чего риск столкновений различных узлов станка с обрабатываемой деталью или между собой повышается во много раз, что может привести к выходу из строя всего станка и к задержке выполнения производственного плана. VeriCUT предоставляет средства для построения виртуальных моделей станков и стоек ЧПУ, позволяющих имитировать движения рабочих органов станка при обработке и осуществлять непрерывный контроль столкновений.

Модель станка может быть построена с любой степенью детализации, насколько позволяет вычислительная мощность компьютера. Система обнаруживает столкновения и опасные сближения между всеми органами станка.

Эти средства, помимо контроля, полезны и в процессе обучения операторов станков с ЧПУ, так как гораздо безопаснее и дешевле тренироваться на виртуальном станке, не отрываясь от производственного процесса и без риска поломки настоящего станка. К тому же, на виртуальном станке можно проверить все возможности и ограничения нового станка перед его приобретением.

В стандартную установку VeriCUT уже включена библиотека моделей станков и стоек ЧПУ различных производителей, в частности:

- станки: Aerostar, Bohle, Charmilles, Cincinnati, Dixi, Fadal, HAAS, Ingersoll, Maho, Makino, Mazak, SNK;
- стойки: ЧПУ: Allen-Bradley, Bosch, Cincinnati Milacron, Fadal, Fanuc, General Electric, Mazatrol, NumeriPath, Okuma, Philips, Siemens, Yasnac.

Для определения формы узлов станка, заготовки и технологической оснастки VeriCUT поддерживает простейшие функции моделирования: построение цилиндров, конусов, блоков, тел вращения и вытяжки (путем задания плоского контура и оси). Для моделей более сложной формы существует возможность импорта из CAD-системы в формате IGES или STL. С целью точного позиционирования моделей относительно друг друга пользователю

предоставляются средства переноса и вращения моделей в пространстве и задания систем координат.

Геометрические параметры режущего инструмента, применяемого в текущей УП, могут задаваться различными способами. Геометрия инструмента может быть задана в тексте самой программы стандартной командой CUTTER (как при отработке программ в формате CLDATA) или вызовом соответствующего инструмента из библиотеки по его уникальному номеру. С помощью менеджера инструмента в VeriCUT можно задать любую форму фрезы или резца. Для стандартного инструмента режущая часть задается введением значений параметров, для нестандартного – построением плоского контура поперечного сечения во встроенным инструменте построения эскизов или импортом из формата DXF. В отношении каждого инструмента можно определить форму хвостовика и державки для контроля столкновений с заготовкой и органами станка. VeriCUT может контролировать работу фрез, для которых невозможно резание центром, например фрезы со сменными пластинами.

### **10.3.2. Пример разработки виртуальной модели токарно-фрезерного станка Takisawa EX-308 в автоматизированной системе VERICUT**

#### *10.3.2.1. Технические характеристики станка и оснастки*

Для создания виртуального станка было осуществлено построение 3D-моделей деталей и узлов станка и последующая их сборка в виртуальную модель. Проект выполнен с использованием интегрированного программного комплекса Pro/Engineer WildFire 4.0, а так же системы VERICUT.

Технические характеристики токарно-фрезерного станка с ЧПУ Takisawa EX-308 (рис. 8.1) приведены в табл. 8.1.

Под технологической оснасткой для станков подразумеваются приспособления, которые предназначаются для того, чтобы установить и закрепить заготовки в необходимом положении. Технологическая оснастка токарно-фрезерного обрабатывающего центра Takisawa EX-308 представлена следующим образом.

1. Комплект цанг ER32 (рис. 10.37)



Рис. 10.37. Комплект цанг ER32

## 2. Задний центр (рис. 10.38)



Рис. 10.38 Задний центр SYIC 24015.

## 3. Комплект кулачков для автоматического трехкулачкового патрона (рис.10.39)



Рис. 10.39. Комплект кулачков для токарного центра Takisawa EX-308

*10.3.2.2. Основные этапы создания виртуальной модели станка*

Процесс создания виртуальной модели станка включает реализацию следующих этапов:

10. Получение размеров основных деталей станка

На первом этапе необходимо получить размеры основных деталей станка, но нужно учесть только те детали и узлы, которые непосредственно участвуют в процессе обработки, в данном случае это корпус станка; шпиндель; задняя бабка; привод револьверной головки; револьверная головка; державки инструмента.

Получение размеров деталей можно разделить на два варианта:

- а) получение размеров на основе анализа имеющихся чертежей;
- б) получение размеров путем ручного замера.

Ручной замер необходим в тех случаях, когда данных чертежа недостаточно.

**11. Построение твердотельных 3D-моделей всех основных деталей станка**

После получения всех необходимых размеров выполняется построение твердотельных моделей деталей станка, а также, при необходимости, модель заготовки.

**12. Формирование сборочной единицы (сборки) модели станка**

Для проверки правильности построения моделей и для подготовки к экспорту в STL формат выполняется сборка модели станка в CAD-системе.

**13. Экспорт в STL- формат**

Для возможности работы VERICUT с созданными моделями выполняется их экспорт в формат STL. Для облегчения сборки экспорт желательно выполнять относительно отдельной системы координат.

**14. Сборка в VERICUT**

Для сборки станка применяют ранее выполненные и экспортированные 3D-модели.

**15. Настройка станка**

На данном этапе выполняется настройка начального положения органов станка, углы поворота инструментов, программный ноль и т.д.

**16. Присоединение УП и контроллера**

В дереве проекта выполняется присоединение к виртуальной модели станка заранее составленной управляющей программы, контроллера и режущих инструментов.

**17. Настройка макросов**

При настройке макросов выполняется настройка контроллера, если это необходимо. В данном случае выполнялась настройка

макроса для токарного и фрезерного режимов, а также для корректной смены инструмента.

#### *10.3.2.3. Построение 3D-моделей деталей станка в Pro/ENGINEER*

Для разработки виртуальной модели станка необходимо иметь трехмерные модели его основных деталей и узлов, которыми являются: корпус станка; шпиндель; задняя бабка; привод револьверной головки; револьверная головка; державки инструмента. Для построения моделей использована система Pro/ENGINEER.

Рассмотрим основные операции по моделированию деталей станка на примере детали «корпус станка».

Вначале создавался эскиз профиля корпуса станка (рис. 10.40), далее применялась операция выдавливания (рис. 10.41).

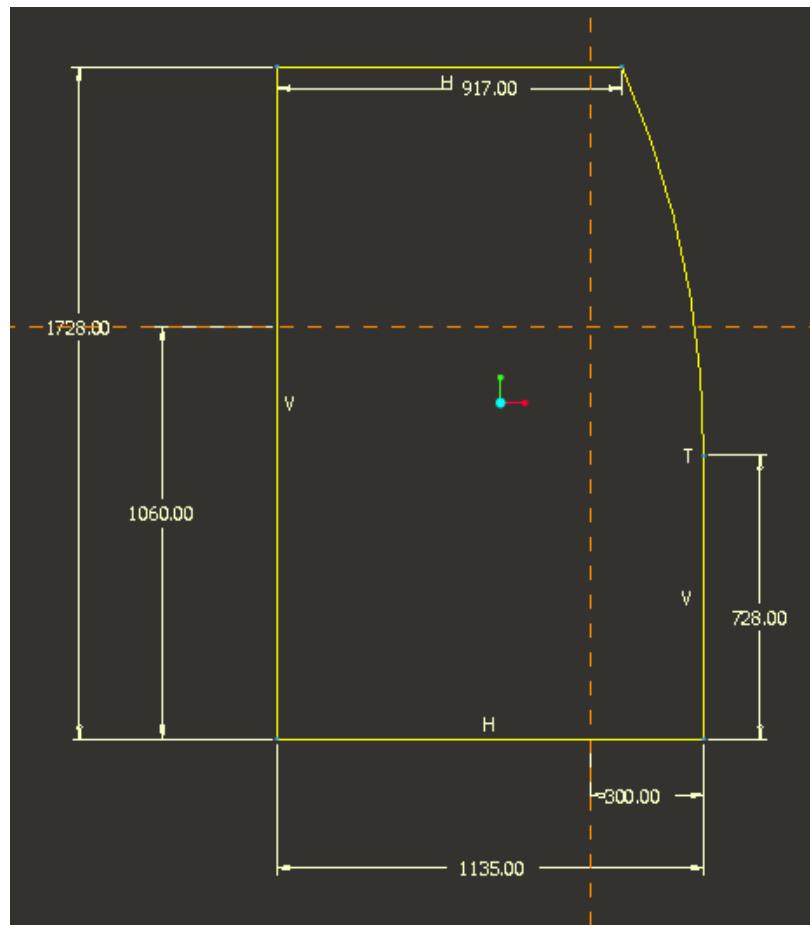


Рис. 10.40. Эскиз профиля корпуса

Результатом является твердотельная модель профиля корпуса.

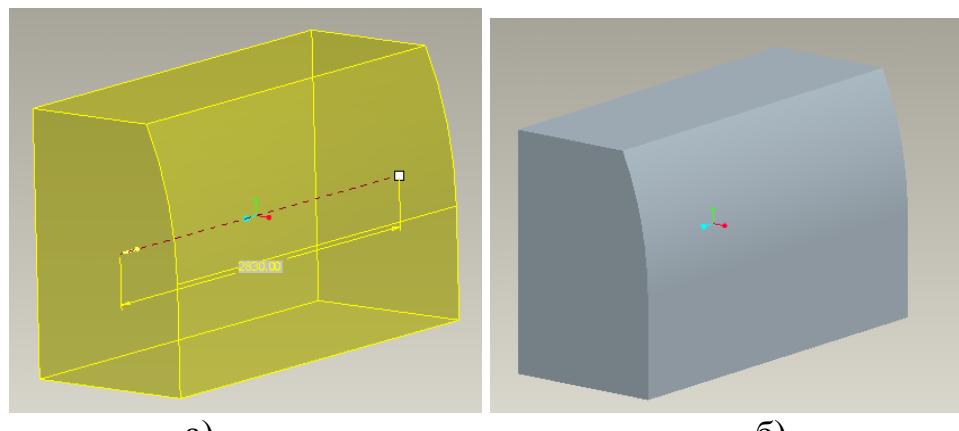


Рис. 10.41. Операция выдавливания: а – редактирование операции «Выдавливание»; б – результат выполнения операции «Выдавливание»

В результате последовательного применения операций моделирования сначала формируется эскиз внутренней части корпуса (рис. 10.42), далее – твердотельная модель корпуса (рис. 10.43), затем достраиваются направляющие для задней бабки (рис. 10.44). Особенностью является то, что построение эскиза внутренней части корпуса необходимо выполнять относительно оси шпинделя (рис. 10.42), т.к. основным чертежом для привязки расположения деталей станка является взаимное расположение револьверной головки и шпинделя, они также являются и главными рабочими органами станка.

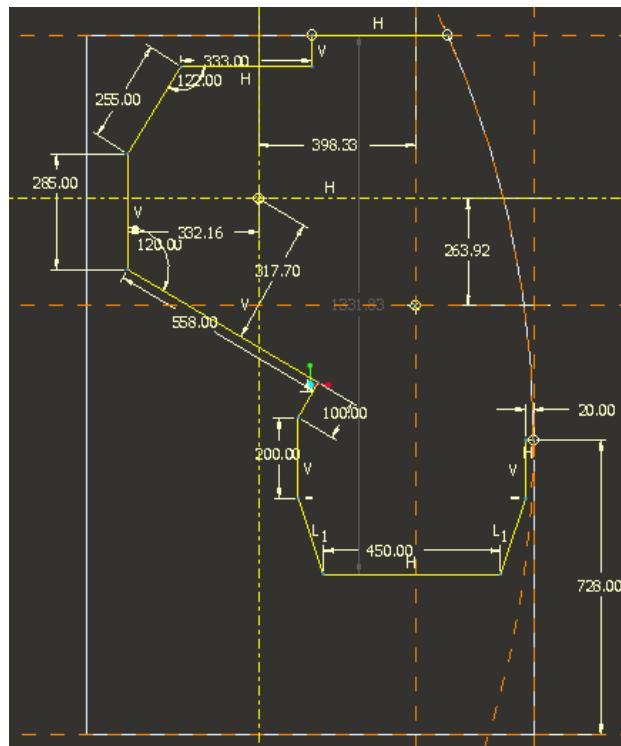


Рис. 10.42. Эскиз внутренней части корпуса

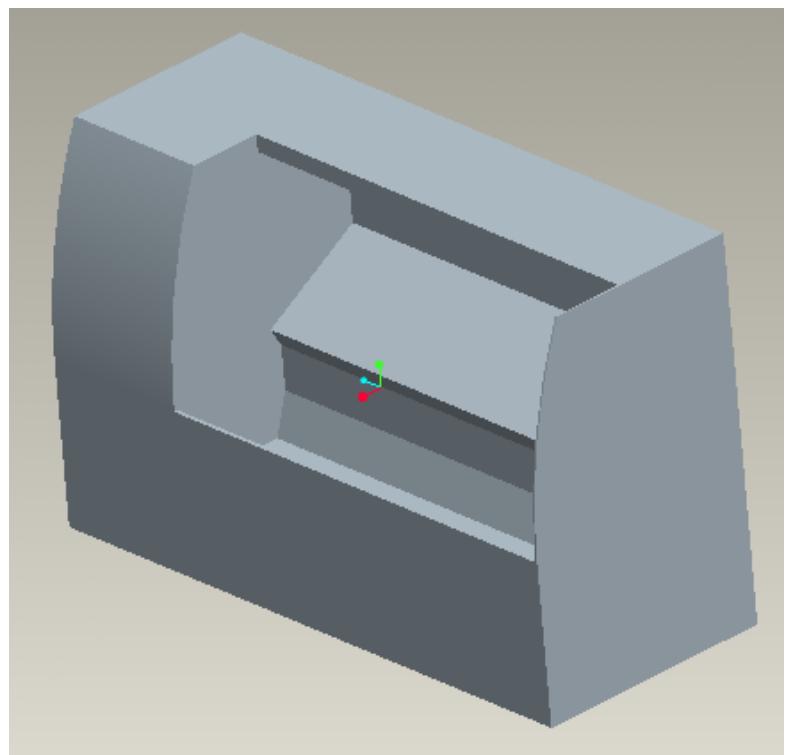


Рис. 10.43. Результат выдавливания

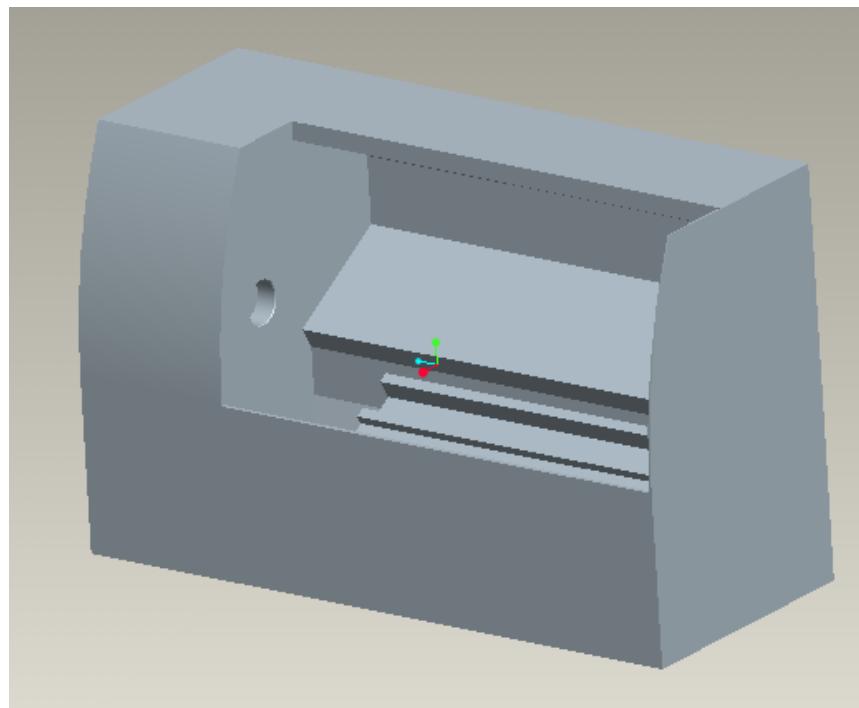


Рис. 10.44. Твердотельная модель детали «Корпус станка»

Сформированные 3D-модели основных деталей станка представлены на рис. 10.45.

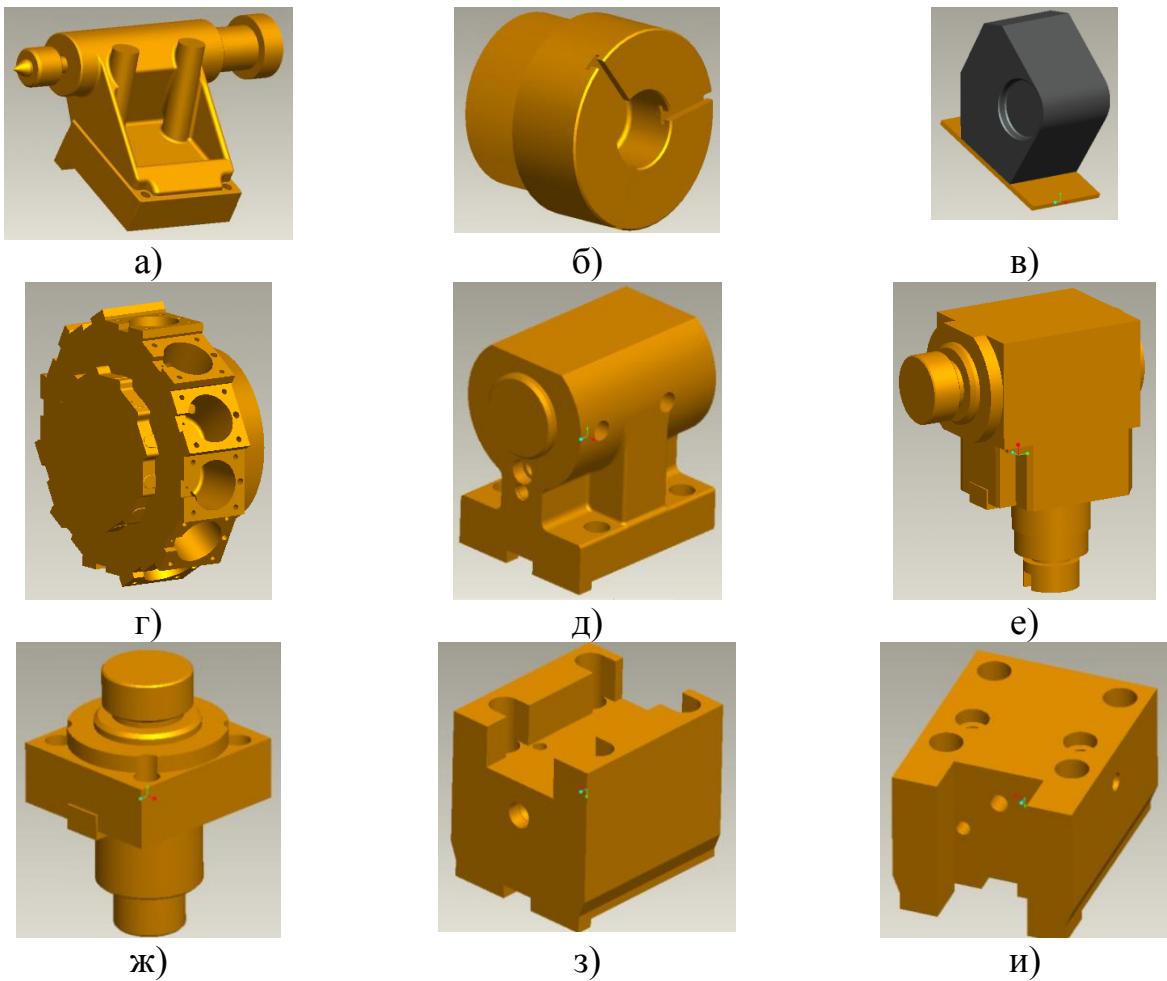


Рис. 10.45. Твердотельные модели деталей станка:

а – задняя бабка; б – шпиндель; в – привод револьверной головки; г – револьверная головка; д – держатель расточного сверла; е – осевая державка; ж – радиальная державка; з – резцодержатель осевой; и – резцодержатель радиальный

#### *10.3.2.4. Создание сборочной модели станка*

Для проверки правильности построения твердотельных моделей и для подготовки их к экспорту в STL-формат выполняется формирование сборочной модели станка.

В качестве первой базовой детали целесообразно использовать деталь «корпус станка». Осуществляется привязка системы координат модели станка к системе координат сборки – закрепление модели корпуса (рис. 10.46).

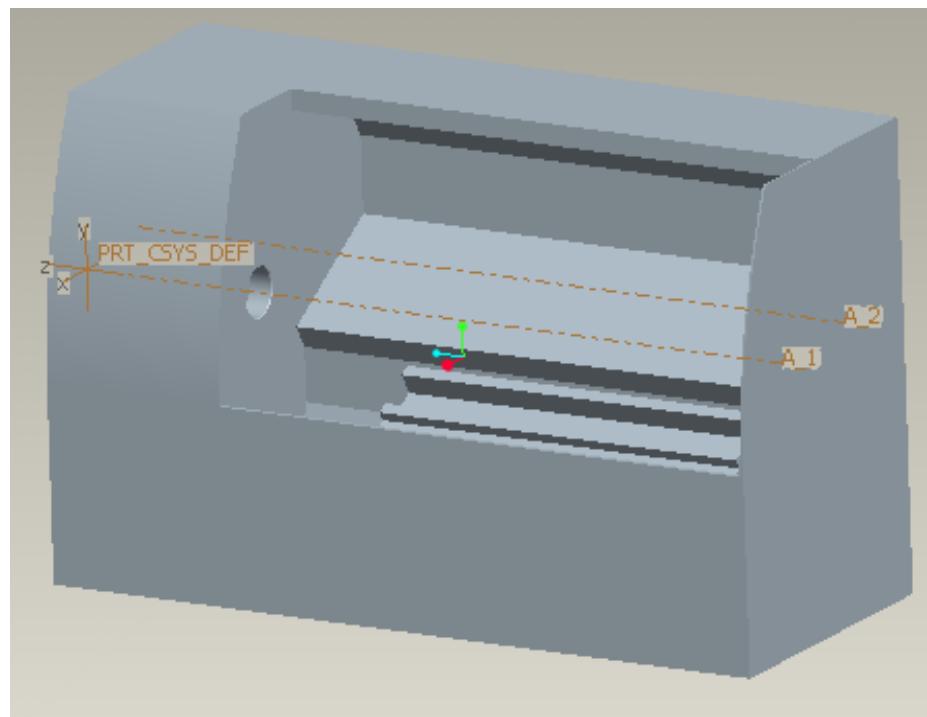


Рис. 10.46. Закрепленная 3D-модель корпуса

Следующий этап – добавление, ориентация и закрепление в сборке (рис. 10.47) модели детали «Шпиндель».

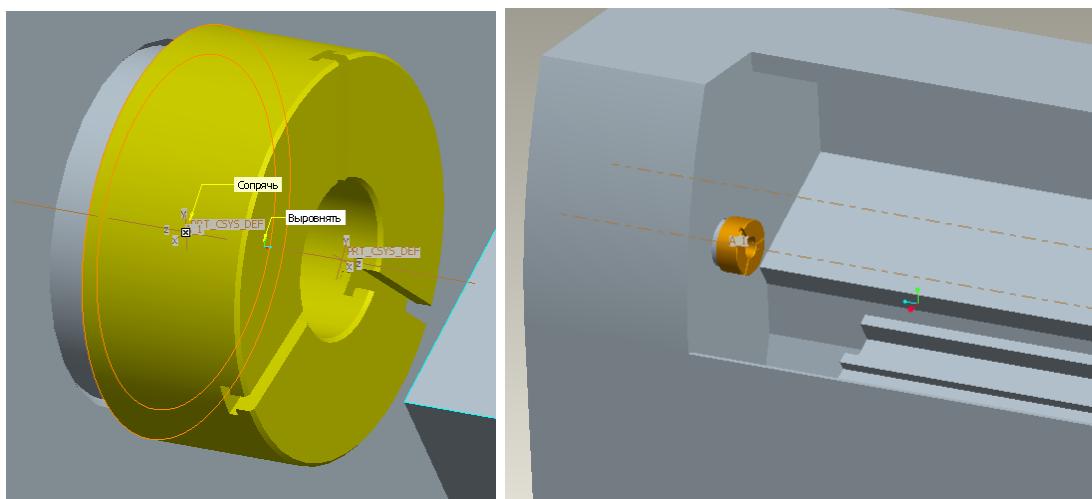


Рис. 10.47. Закрепление модели «Шпиндель» по оси и плоскости

Аналогичные действия по закреплению выполнялись с остальными моделями деталей, в результате чего сформирована сборочная модель станка (рис. 10.48).

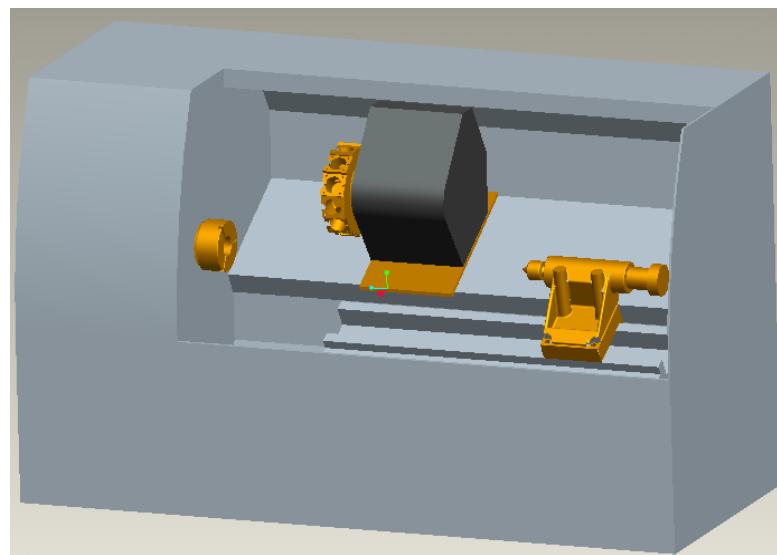


Рис. 10.48. Собранная 3D-модель станка в САПР Pro/Engineer

#### *10.3.2.5. Экспорт моделей в STL формат*

Экспорт моделей в формат STL - необходим для возможности работы с ними в автоматизированной системе Vericut, модели в данном формате будут экспортированы в качестве деталей станка.

Для удобства переноса моделей в Vericut создается новая система координат, находящаяся на оси шпинделя в плоскости корпуса (рис. 10.49), далее целесообразно выполнить наклон на  $30^{\circ}$  относительно данной системы координат вокруг оси Z на  $30^{\circ}$ , чтобы оси сборки совпадали с осями реального станка.

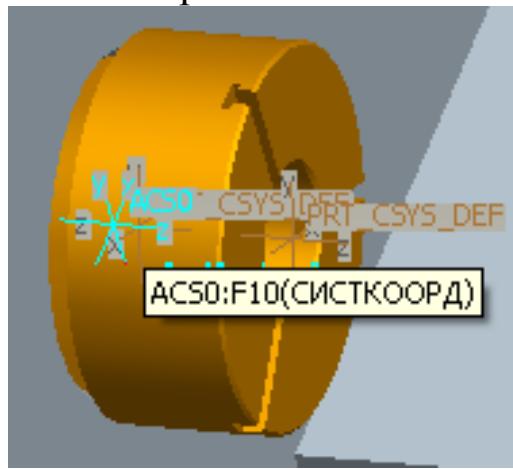


Рис. 10.49. Добавление новой системы координат

Осуществляется перевод трехмерных моделей деталей в формат STL, при этом используются созданные ранее системы координат и

дополнительное сглаживание (значение «Высота хорды» устанавливается 0.1).

Модель револьверной головки и система координат, относительно которой был выполнен экспорт, представлены на рис. 10.49.

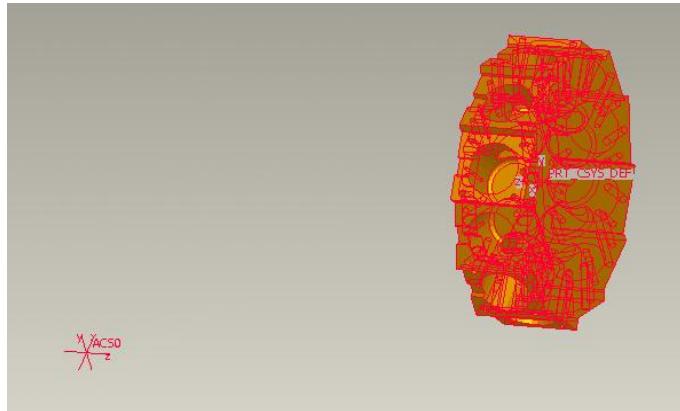


Рис. 10.49. Результат экспорта трехмерной модели револьверной головки в формат STL

Аналогично выполняется экспорт в формат STL - моделей остальных деталей. Экспорт должен выполняться только от созданной системы координат, что позволит сократить время формирования сборки виртуальной модели станка в автоматизированной системе Vericut.

Следует отметить, что при выполнении работы сложностью было правильное расположение револьверной головки относительно шпинделя, так как данные чертежа искажали информацию. В результате измерений на самом станке было выполнено правильное построение.

#### *10.3.2.6. Создание виртуальной модели станка Takisawa EX-308 в автоматизированной системе VERICUT*

**Первым этапом создания** виртуальной модели станка в автоматизированной системе VERICUT являлось добавление компонентов станка.

Для сборки модели станка использовалось дерево компонентов «Configuration – Component tree...», в котором выполнялось добавление линейных и вращательных движений деталей станка относительно осей X, Y или Z.

В начале все перемещения добавляются к базе «Base», далее перемещения могут быть добавлены к ранее созданным (рис. 10.50), в результате чего создается кинематическая структура станка.

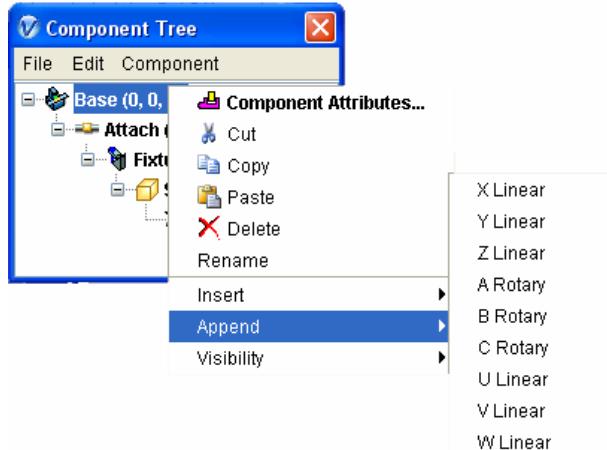


Рис. 10.50. Добавление компонентов

Выделяют следующие компоненты:

- X linear, Y linear и Z linear – линейные перемещения вдоль осей;
- A rotary, B rotary и C rotary – вращательные движения вокруг осей X, Y и Z соответственно;
- Turret A, Turret B и Turret C – револьверная головка с осью вращения вокруг X, Y и Z соответственно;
- Spindle – шпиндель станка;
- Tool – компонент инструмента.

Для определения порядка расположения компонентов производится анализ перемещения рабочих органов станка (рис. 10.51).

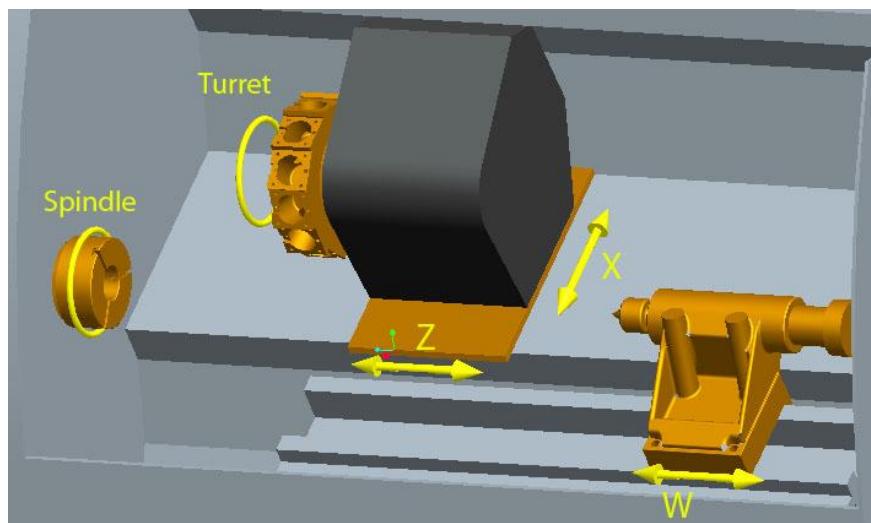


Рис. 10.51. Направления перемещений элементов станка

Выявлены необходимые цепочки добавлений в дереве компонентов (рис. 10.52):

- Base – Z Linear – X Linear – Y linear – Turret B – Tool;
- Base – C Rotary – Spindle – Attach;
- Base – W Linear.

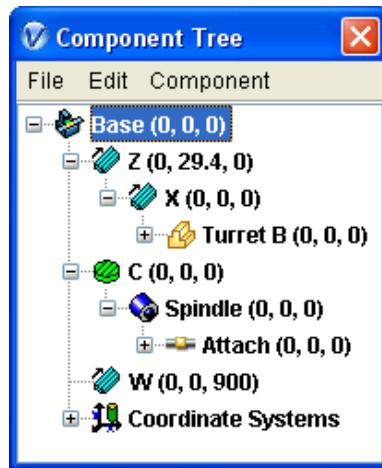


Рис. 10.52. Дерево компонентов после заполнения

Следующим важным этапом формирования виртуальной модели станка является прикрепление твердотельных моделей деталей и узлов станка к компонентам (рис. 10.53).

Для прикрепления твердотельных моделей к компонентам необходимо для каждого компонента выбрать тип модели (блок, цилиндр, из файла) и произвести ориентацию модели в закладке, если это требуется (рис. 10.54).

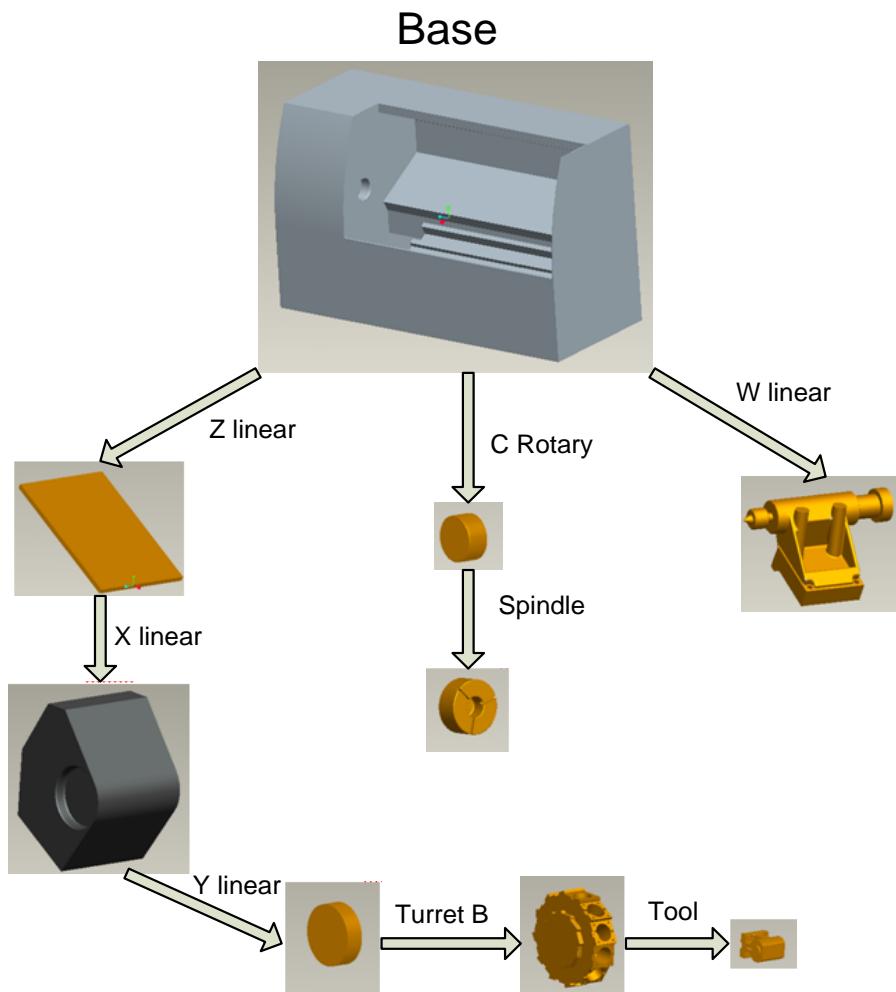


Рис. 10.53. Модели деталей станка, привязанные к компонентам

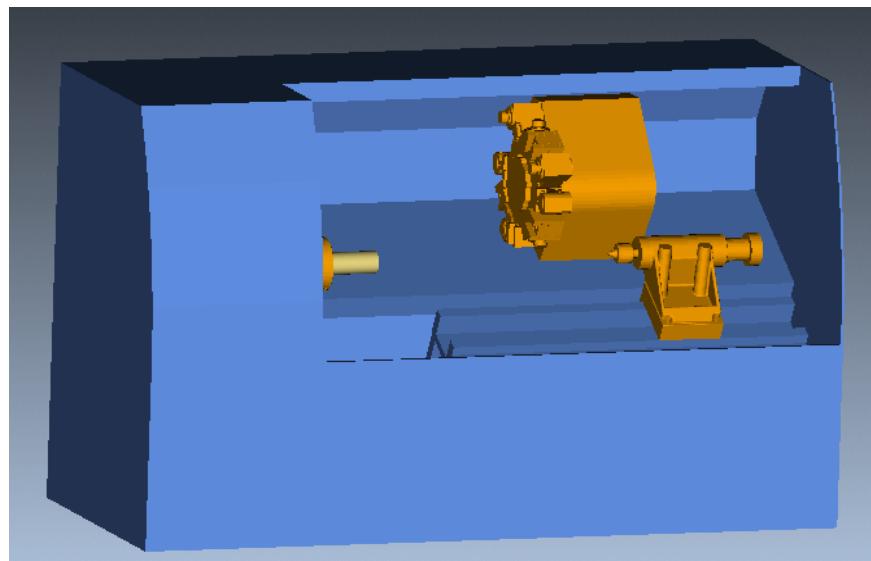


Рис. 10.54. Результат сборки модели станка в автоматизированной системе VERICUT

**Добавление заготовки** выполняется с использованием встроенных средств автоматизированной системы Vericut путем указания в диалоговом окне типа заготовки (для создаваемого станка - цилиндр «Cylinder») и характеристик высоты и радиуса цилиндра (рис. 10.55).

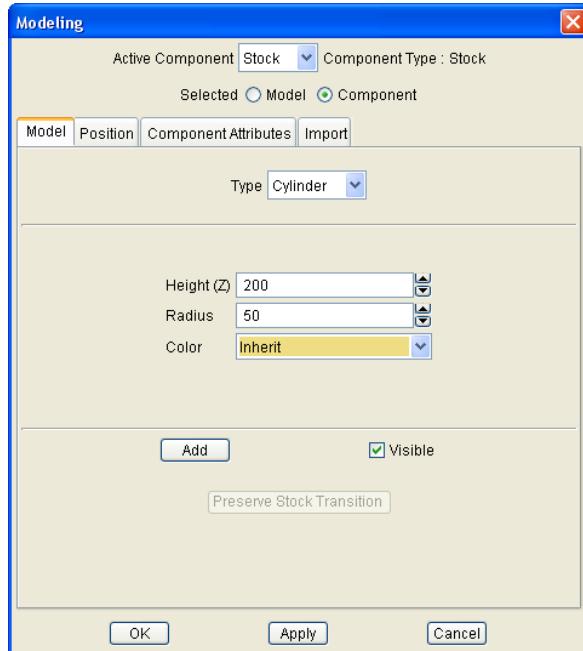


Рис. 10.55. Добавление заготовки

Одним из наиболее важных этапов является расположение резцодержателей модели револьверной головки и измерение расстояния смещений координат инструмента относительно оси револьверной головки (рис. 10.56).

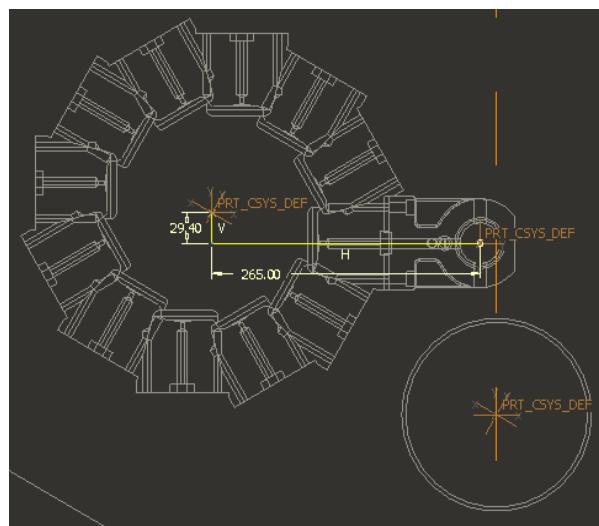


Рис. 10.56. Получение расстояний смещений координат инструмента

Затем для рассматриваемой схемы указываются позиции инструмента в револьверной головке (рис. 10.57,10.58).

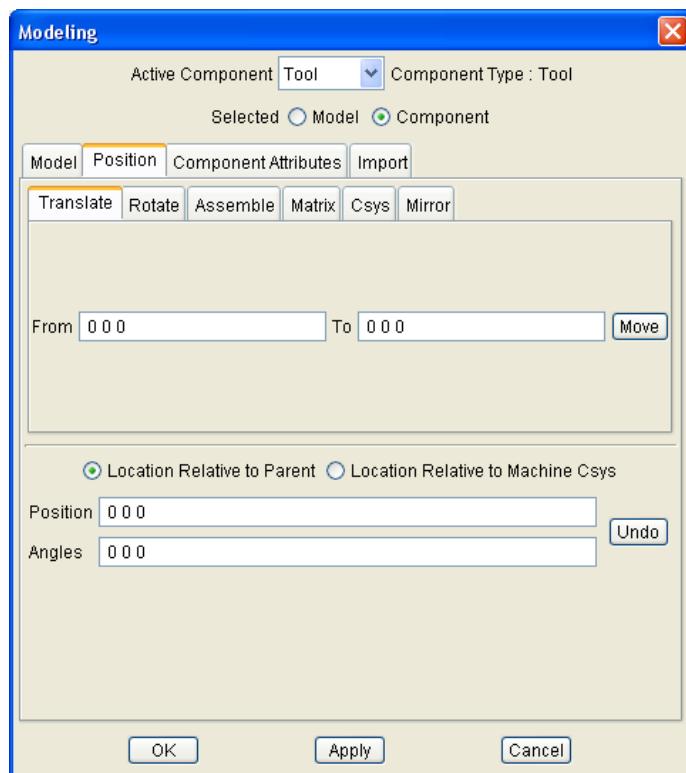


Рис. 10.57. Окно настройки расположения системы координат инструмента

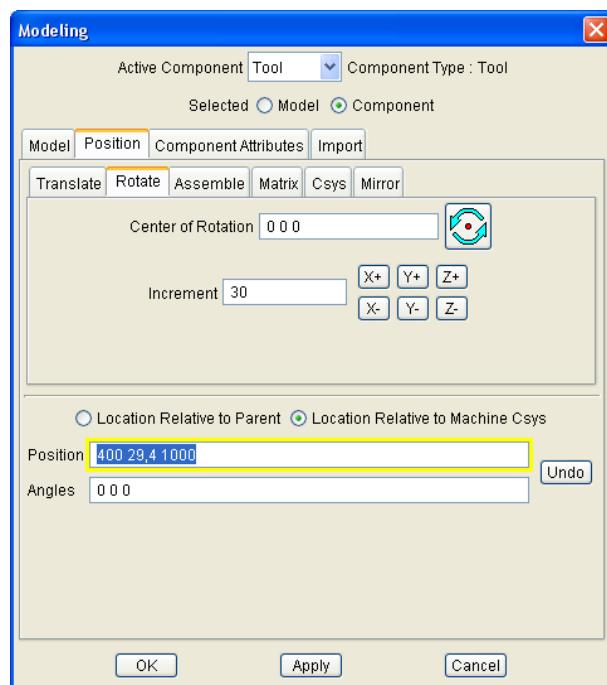


Рис. 10.58. Окно поворота системы координат инструмента

Размещение программного нуля целесообразно сделать с использованием средств Vericut на торце заготовки.

Для правильной ориентации инструмента при проверке УП выполняется совмещение системы координат револьверной головки с программным нулем.

На этом этапе выполняется настройка смены инструмента. В специальном диалоговом окне для каждого «Tool Index» необходимо ввести угол, на который будет поворачиваться револьверная головка при смене инструмента. Для первого инструмента угол равен 0, для каждого последующего на 30 градусов больше.

Для задания нулевого (рис. 10.59) и референтного положений станка используются специализированные диалоговые окна Vericut.

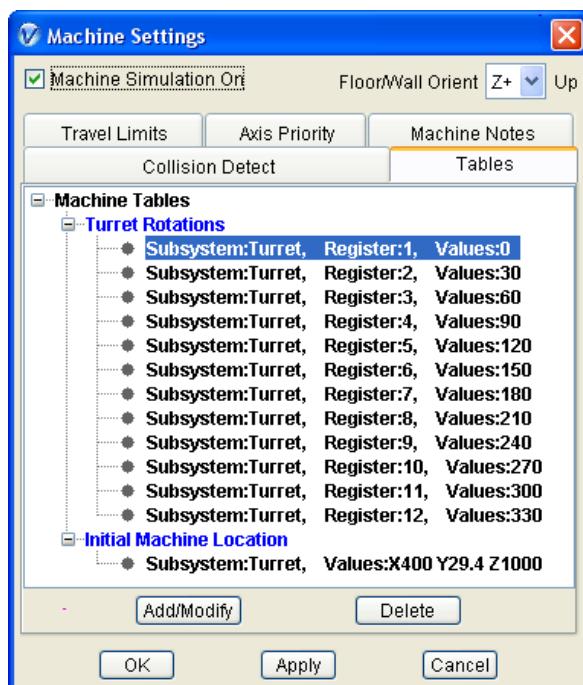


Рис. 10.59. Результат настройки нулевого положения станка

Важным этапом является присоединение инструментов к виртуальной модели станка (рис. 10.60).

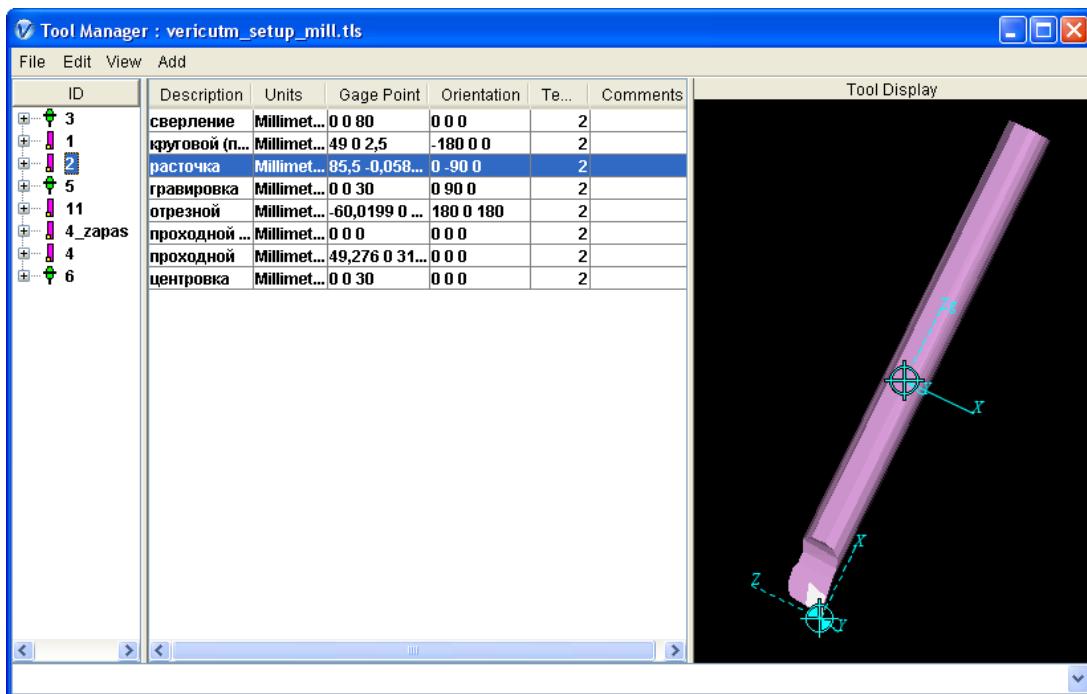


Рис. 10.60. Диалоговое окно редактора инструментов

Для привязки инструмента на револьверной головке номеру индекса (Index) ставится в соответствие порядковый номер компонента инструмент (Tool ID).

Настройка столкновений позволяет выявить опасные сближения рабочих органов, а также «зарезы» (рис. 10.61).

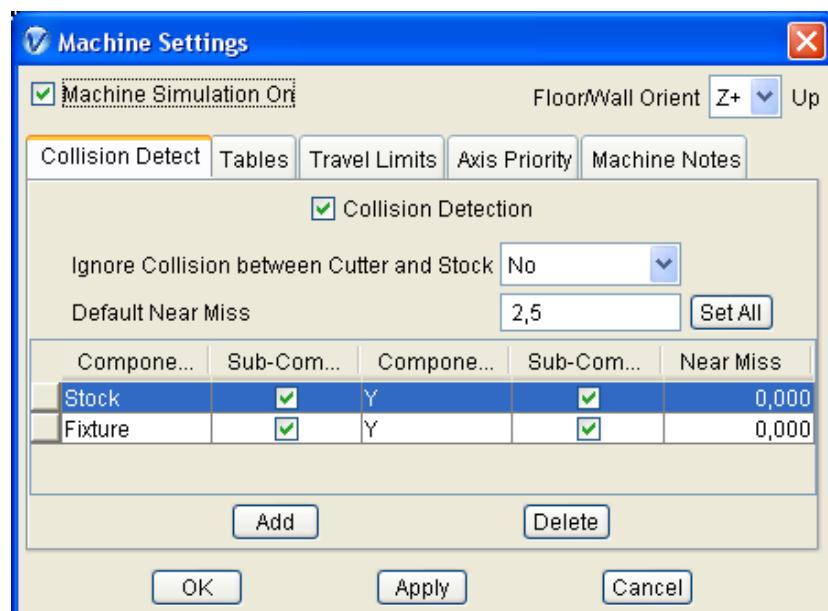


Рис. 10.61. Выполнение настройки столкновений

«Stock» - заготовка, «Fixture» - оснастка, «Y» - компонент, на котором находится револьверная головка и режущие инструменты. Таким образом, будут проверяться столкновения со всеми компонентами на компоненте «Y».

Для правильной работы станка необходимо правильно настроить контроллер. Контроллер отвечает за правильное восприятие команд управляющей программы, что влияет на процесс обработки. В данном случае была решена проблема перехода на фрезерный и токарный режимы, путем добавления соответствующих команд и корректировки уже имеющихся.

На рис. 10.62 приведен пример настройки макроса для активации шпинделя. В верхней части указывается слово «M 76» (фрезерный режим). Имя слова не ограничивает его внутреннее содержание, поэтому даже вместо команды подачи охлаждающей жидкости можно настроить возврат в референтное положение. Поэтому при настройке необходимо опираться на команды используемого контроллера.

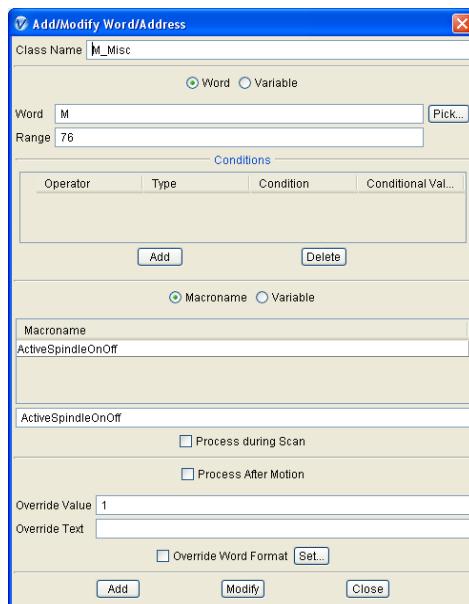


Рис. 10.62. Окно настроек макросов

В поле «Macroname» выбирается необходимое действие, в данном случае это команда запуска активного шпинделя.

Для окончательной настройки добавляются в контроллер изменения (рис. 10.63).



Рис. 10.63. Настройка макросов: а - токарный и фрезерный режимы; б - смена инструмента

#### 10.3.2.7. Присоединение управляющей программы и проверка работы виртуальной модели станка

Проверка работоспособности виртуальной модели станка осуществлялась на примере изделий, в том числе и сувенирной продукции - «Грааль» (рис. 10.64).

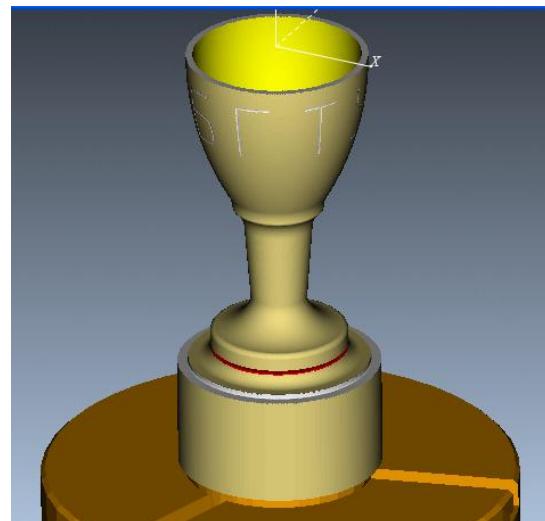


Рис. 10.64. Результат проверки управляющей программы на виртуальной модели станка Takisawa EX-308 в автоматизированной системе VERICUT

Использование виртуальных станков обеспечивает ценную информацию о подвергающемся механической обработке процессе изготовления изделия. Знание системы о текущем состоянии заготовки позволяет оптимизировать УП по режимам резания с целью ускорения процесса обработки, повышать эффективность использования оборудования и улучшать качество обрабатываемых поверхностей. В процессе симуляции УП траектория инструмента разделяется на элементарные участки с заданным шагом. Сравнивая объем материала, снимаемого на каждом участке, с заданными рекомендуемыми условиями резания, система назначает оптимальную подачу на каждом участке. VeriCUT учитывает такие факторы обработки, как производительность станка (мощность, тип шпинделя, скорость быстрого позиционирования и т.п.), тип режущего инструмента (форма, число зубьев, вылет, интенсивность износа и т.п.), глубина, ширина, угол резания.

На выходе пользователь получает новую УП, траектория которой идентична исходной, но имеет оптимизированные величины подач. Хотя система и рассчитывает оптимальные значения подач автоматически, исходные параметры для определенных условий резания задает технолог-программист ЧПУ исходя из собственного опыта или по таблицам режимов резания, предоставляемым поставщиком режущего инструмента.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение станков с ЧПУ позволяет значительно повысить производительность обработки и улучшить качество изготавляемых деталей. Главная особенность этого вида оборудования состоит в том, что движение инструмента относительно обрабатываемой заготовки заранее программируется и записывается в числовой форме.

В учебном пособии рассмотрено устройство станков с ЧПУ, прогрессивный металлообрабатывающий инструмент и приспособления. Отдельное внимание удалено техническому оснащению данного вида оборудования, рассмотрены особенности разработки технологических процессов с применением оборудования с ЧПУ. В пособии приведены возможности и структура современных CAD/CAM/CAE- систем, выполнен их сравнительный анализ. Рассмотрено применение станков с ЧПУ совместно с системами автоматизированного проектирования.

Также рассмотрены основы программирования оборудования с ЧПУ на примере наиболее распространенных в России систем с ЧПУ (NC-201 и FANUC 21i). Также удалено отдельное внимание применению автоматизированных систем для написания управляющих программ и постпроцессоров. В данном пособии приведены примеры управляющих программ, рассмотрены возможности разработки и применения виртуальных моделей технологического оборудования с ЧПУ, инструмента и приспособлений.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1\*. Устройство числового программного управления NC-201: Руководство по эксплуатации. - СПб., 2005. - 80 с.: ил.
- 2\*. Каталог NC 60 RUS (русская версия) [Электронный ресурс] / ООО Сименс 1997-2008, Москва, 2008. - Режим доступа: <http://www.automation-drives.ru/mc/support/cat/nc60.rus>.
3. Кузнецов, Ю. И. Оснастка для станков с ЧПУ: справочник / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. И. Байков. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1990. - 512 с.
- 4\*. Токарно-фрезерное оборудование [Электронный ресурс] / Группа компаний «ROBUR International». - М., 2005. - Режим доступа : [http://www.robur.ru/cdugard\\_rus.htmlarticles/articles\\_id=140](http://www.robur.ru/cdugard_rus.htmlarticles/articles_id=140).
- 5\*. Токарное оборудование [Электронный ресурс] / Группа компаний «ROBUR International». - М., 2008. - Режим доступа: [http://www.robur.ru/cdugard\\_rus.htmllinks/index.php](http://www.robur.ru/cdugard_rus.htmllinks/index.php).
- 6\*. Автоматы продольного точения с ЧПУ [Электронный ресурс] / ЗАО «ИРЛЕН-инжиниринг». - СПб., 2005. - Режим доступа: [www.irlen.ru](http://www.irlen.ru).
7. Высокоточные обрабатывающие станки с ЧПУ [Электронный ресурс] / Copyright ЗАО «М. Т. Е. - ФИНАНС». - М., 2005. - Режим доступа: <http://www.mtef.ru/catalog/CPU>.
8. Вертикальные фрезерно-сверлильно-расточные обрабатывающие центры SODICK [Электронный ресурс] / SODICK Co., Ltd. - М., 2005. -Режим доступа: [http://www.sodick-euro.ru/Russian/mc\\_nanol00.htm](http://www.sodick-euro.ru/Russian/mc_nanol00.htm).
9. Справочник технолога-машиностроителя / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. - М. : Машиностроение, 1986. — Т. 2. — 656 с.
10. Пестов, С. П. Проектирование технологических процессов обработки деталей на станках с ЧПУ / С. П. Пестов. - Челябинск, 2002. -66 с.
11. Андреев, Г. И. Работа на токарных станках с ЧПУ с системой ЧПУ FANUC / Г. И. Андреев. - СПб, 2005. - 42 с.: ил.

---

*Примечание:*\* указана основная рекомендуемая литература.

12. Кряжев, Д. Ю. Фрезерная обработка на станках с ЧПУ с системой ЧПУ FANUC / Д. Ю. Кряжев. - СПб, 2005. - 41 с.: ил.
13. Гжиров, В. И. Программирование обработки на станках с ЧПУ: справочник / В. И. Гжиров, П. П. Серебренецкий. - М.: Машиностроение, 1990. - 588 с.: ил.
14. Сборник инструкций. Станок с ЧПУ.- Т. 7. Ирлен-инжиниринг. - СПб, 2001.-112 с: ил.
15. Немилов, Е. Ф. Справочник по электроэрозионной обработке материалов / Е. Ф. Немилов. - М.: Машиностроение, 1989. - 164 с.: ил.
16. Фотеев, Н. К. Технология электроэрозионной обработки / Н. К. Фотеев. - М.: Машиностроение, 1980. - 184 с.: ил.
17. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов / Б. А. Артамонов [и др.]. - М.: Высш. шк., 1983. - 208 с.: ил.
18. Лившиц, А. Л. Электроэрозионная обработка металлов / А. Л. Лившиц. - М.: МашГиз, 1979.-118 с.: ил.
19. Размерная электрическая обработка металлов / Б. А. Артамонов [и др.]. - М.: Высш. шк., 1978. - 336 с.: ил.
20. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки / под ред. В. А. Волосатова. - М.: Машиностроение, 1988.-719 с: ил.
21. Электроискровое (электроэрозионное) оборудование мирового лидера из Японии [Электронный ресурс] / SODICK Co., Ltd. - М, 2008. - Режим доступа: [www.sodick-euro.ru/Russian/index.htm](http://www.sodick-euro.ru/Russian/index.htm).
22. Технологии [Электронный ресурс] / «АЛПЛАСТ». - СПб., 2008. - Режим доступа: <http://www.alplast-spb.ru/technologies.htm>.
23. Каталог оборудования — фрезерно-гравировальные станки, оборудование для плазменной и лазерной резки [Электронный ресурс] / Multicam.ru@. - М., 2005. - Режим доступа: <http://www.multicatn.ru/catalog.shtml#3>.
24. Бочков, В. М. Расчет и составление программ для обработки деталей на станках с программным управлением : учеб. пособие / В. М. Бочков, Р. В. Юревич. - Львов: ЛПИ, 1981. - 130 с.: ил.
25. Каштальян, И. А. Обработка на станках с числовом программным управлением : справ. пособие / И. А. Каштальян, В. И. Клевзович. - Минск: Выш. шк., 1998. —271 с.: ил.

26. Дерябин, А. Л. Программирование технологических процессов для станков с ЧПУ / А. Л. Дерябин. — М.: Машиностроение, 1984. - 224 с.
27. Технология обработки на станках с ЧПУ: метод. указания по выполнению контрольной работы для студентов заочной формы обучения специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» / сост. А. М. Федоренко. - Могилев: Белорус.-Рос. ун.-т, 2005. - 34 с. : ил.
28. Жолобов, А. А. Программирование обработки деталей на станках с микропроцессорными УЧПУ: учеб. пособие / А. А. Жолобов, А. Н. Жигалов. - Минск: БПИ, 1990. - 129 с.: ил.
29. Устройство числового программного управления NC—110, NC-200, NC-210: Руководство программиста МС. - СПб., 2004. - 174 с.: ил.
30. Устройство числового программного управления NC-110, NC-200, NC-210 : Руководство программиста ТС. - СПб., 2004. - 150 с.: ил.
31. Филиппович, К. В. Идеология постпроцессирования в современных CAD/CAM-системах / К. В. Филиппович // Россия: ООО Евразия Лимитед, 2000 [Электронный ресурс]. - 2008. - Режим доступа: <http://www.sapr2000.ru/pressa2.html>.
32. Линч, М. Базовые концепции Числового Программного Управления (ЧПУ) / М. Линч // Россия: ООО Евразия Лимитед, 2000 [Электронный ресурс]. - 2008. - Режим доступа: <http://www.sapr2000.ru/pressa61.html>.
33. Инновационные центры высоких технологий в машиностроении: монография / В.И. Аверченков, А.В. Аверченков, В.А. Беспалов, В.А. Шкаберин, Ю.М. Казаков, А.Е. Симуни, М.В. Терехов; под общ. ред. Аверченкова В.И., Аверченкова А.В. – Брянск: БГТУ, 2009. – 108 с.
34. Аверченков, В.И., Аверченков, А.В., Терехов, М.В., Кукло, Е.Ю. Автоматизация выбора режущего инструмента для станков с ЧПУ: монография / [Текст]+[Электронный ресурс]. – Брянск: БГТУ, 2010. – 148 с.
35. Аверченков, В.И., Жолобов, А.А., Мрочек, Ж.А., Аверченков, А.В., Терехов, М.В., Левкина, Л.Б. Станки с ЧПУ в машиностроительном производстве [Текст]+[Электронный ресурс]: учеб. пособие для вузов. – Брянск: БГТУ, 2010. – Ч.1. – 216 с.
36. Аверченков, В.И., Жолобов, А.А., Мрочек, Ж.А., Аверченков, А.В., Шкаберин, В.А., Терехов, М.В., Левкина, Л.Б. Автоматизация

подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ [Текст]+[Электронный ресурс]: учеб. пособие для вузов. – Брянск: БГТУ, 2010. – Ч.2. – 213 с.

37. Аверченков, А.В., Аверченкова, Е.Э. Особенности производственной деятельности малых инновационных предприятий / А.В. Аверченков, Е.Э. Аверченкова. – Москва, 2012. -124 с.

38. Официальный сайт компании PTC, Pro/ENGINEER [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [www.ptc.com/](http://www.ptc.com/).

39. Официальный сайт компании Siemens PLM Software, система NX6 (Unigraphics) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.plm.automation.siemens.com/ru\\_ru](http://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru).

40. Официальный сайт группы компаний ADEM, ADEM [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [www.adem.ru/](http://www.adem.ru/)

41. Официальный сайт группы компаний «ТОП СИСТЕМЫ», T-Flex [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://tflex.ru/>

42. Официальный сайт группы компаний «Трайтек», CADMECH [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.tritec.ru/>

43. Официальный сайт группы компаний Dassault Systèmes, CATIA [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.catia.ru/>

44. Официальный сайт группы компаний Dassault Systèmes, CATIA [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.catia.ru/>

45. SolidCAM [Электронный ресурс] / Группа компаний «CSoft» - М., 2006. - Режим доступа: <http://www.csoft.ru/catalog/soft/solidcam/solidcam-2006.html>.

46. Mastercam - мастер сам! (или Твердое тело в твердых руках технологов) [Электронный ресурс] / Журнал «САПР и графика» - М., 2000. - Режим доступа: <http://www.sapru.ru/article.aspx?id=7540&id=307>.

47. SprutCAM: Система подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ [Электронный ресурс] / Компания «СПРУТ-Технология» - М., 2010. - Режим доступа: <http://www.sprut.ru/productsandservices/cnc/sprutcam>.

48. Unigraphics NX [Электронный ресурс] / Группа компаний «CSoft» - М., 2007. - Режим доступа: <http://www.csoft.ru/catalog/soft/unigraphics/unigraphics-nx.html>

49. Система программирования объемной обработки на станках с ЧПУ ГЕММА-3Д [Электронный ресурс] / Компания «АСКОН» - М.,

2009. - Режим доступа:  
<http://machinery.ascon.ru/software/tasks/items/?prcid=89&prpid=940>  
[www.gemma.ru](http://www.gemma.ru)
50. Компьютерное моделирование изделий и САЕ-системы [Электронный ресурс] / Журнал «САПР и графика» - М., 2000. - Режим доступа: <http://www.sapru.ru/Article.aspx?id=6668>
51. Mitsubishi Materials Токарный инструмент, вращающийся инструмент, инструментальные системы: общий каталог 2007-2009 / Mitsubishi Materials Corporation, 1085 с.
52. SANDVIK Coromant Токарный инструмент, вращающийся инструмент, инструментальные системы: общий каталог 2007-2009 / SANDVIK Coromant, 1085 с.
53. SANDVIK Coromant Technical guide – Руководство по металлообработке – Точение: Turning Технический справочник от SANDVIK Coromant 2009 / SANDVIK Coromant, 88 с.
54. Электронный каталог Iscar [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iscar.com/Ecat/>

*Учебное издание*

Александр Алексеевич **Жолобов**  
Жорж Адамович **Мрочек**  
Андрей Владимирович **Аверченков**  
Максим Владимирович **Терехов**  
Виталий Александрович **Шкаберин**

**СТАНКИ С ЧПУ:  
УСТРОЙСТВО, ПРОГРАММИРОВАНИЕ,  
ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
И ОСНАСТКА**

Учебное пособие

Подписано в печать 10.02.2014.

Электронное издание для распространения через  
Интернет.

ООО «ФЛИНТА», 117342, г. Москва, ул. Бутлерова, д. 17-Б,  
комн. 324. Тел./факс: (495) 334-82-65; тел. (495) 336-03-11.  
E-mail: flinta@mail.ru; WebSite: www.flinta.ru.