

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

В. В. Савицкий

## **ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ СТАНКИ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Конспект лекций

Для студентов специальности 1-36 07 02  
«Производство изделий на основе трёхмерных технологий»

Витебск  
2022

УДК 621.9-113.2; 621.9-111; 621.9-112; 621.9.02-229; 621.9.02-589.2; 621.935;  
621.936; 004.43

С 13

Составитель:  
В. В. Савицкий

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор кафедры  
«Теплоэнергетика» УО «ВГТУ» Пятов В. В.;

директор РИУП «НТП ВГТУ» Луцейкович В. И.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским  
советом УО «ВГТУ» протокол № 4 от 29.12.2021.

**Савицкий В. В.**

С 13 Обрабатывающие станки с программным управлением : конспект лекций / сост. В. В. Савицкий. – Витебск : УО «ВГТУ», 2022. – 160 с.  
ISBN 978-985-481-706-4

В конспекте лекций рассмотрены темы, охватывающие основные понятия и определения дисциплины, приведен обзор современных станков с ЧПУ для механической обработки, аддитивных и гибридных технологий, их конструкций, исполнение отдельных узлов и агрегатов, принципы программирования обработки, способы создания управляющих программ для оборудования с ЧПУ различных групп, использование САМ-систем при разработке управляющих программ.

Рассчитан на студентов специальности 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трёхмерных технологий», может быть полезен инженерно-техническим работникам предприятий различного профиля.

Издание в электронном виде расположено в репозитории библиотеки УО «ВГТУ» по ссылке [http://lib.vstu.by/knigi/bukva\\_S/Savickij\\_Obr\\_st\\_s\\_progr\\_upr.pdf](http://lib.vstu.by/knigi/bukva_S/Savickij_Obr_st_s_progr_upr.pdf)

УДК 621.9-113.2; 621.9-  
111; 621.9-112; 621.9.02-229;  
621.9.02-589.2; 621.935;  
621.936; 004.43

ISBN 978-985-481-706-4

© УО «ВГТУ», 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Основные понятия и определения в области ЧПУ .....	8
2 Современные станки с ЧПУ для металлообработки .....	11
2.1 Общие сведения.....	11
2.2 Классификация станков.....	15
2.3 Конструктивные признаки оборудования с ЧПУ. Исполнение узлов и механизмов токарных станков.....	17
2.3.1 Станины станков токарной группы.....	20
2.3.2 Шпиндельные узлы.....	21
2.3.3 Направляющие станков.....	23
2.3.4 Конструкции ШВП.....	25
2.3.5 Линейные сервоприводы в конструкциях станков с ЧПУ.....	28
2.3.6 Револьверные головки токарных станков. Способы крепления инструментов.....	32
2.3.7 Задние бабки. Общая компоновка токарного станка с ЧПУ.....	35
2.4 Конструктивное исполнение фрезерных станков с ЧПУ.....	37
2.5 Конструктивное исполнение оборудования с ЧПУ для заготовительного производства.....	41
3 Принципы программирования обработки на станках с ЧПУ.....	54
3.1 Основы числового программного управления.....	54
3.2 Способы программирования оборудования с ЧПУ. Координатные системы.....	55
3.3 Управляющая программа обработки. G-коды и M-функции для программирования обработки.....	60
3.4 Ручной способ программирования обработки.....	66
3.5 Программирование обработки с использованием САМ-систем.....	69
3.5.1 Общие сведения о САМ-системах.....	69
3.5.2 Создание управляющей программы токарной обработки заготовки в САМ-системе.....	72
3.5.3 Программирование токарно-фрезерной обработки.....	109
3.5.4 Программирование фрезерной обработки.....	122
3.6 Измерительные циклы в программах обработки.....	144
4 Программирование резки на станках с ЧПУ.....	153
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	157

## ВВЕДЕНИЕ

Повышение производительности и качества работ на станках различных групп связано с механизацией и автоматизацией цикла изготовления и обработки заготовок. Автоматизация обеспечивается с помощью управляющей программы.

Под управляющей программой понимают совокупность команд на языке программирования, соответствующую заданному алгоритму функционирования станка по обработке конкретной заготовки.

В зависимости от способа задания размерной информации все системы управления станками разделяют на аналоговые (нечисловые) и числовые [1]. Аналоговые системы управления преобразуют исходную информацию, заложенную в программоноситель в процессе подготовки производства. Программоносителями могут быть упоры, расположенные определенным образом на станке, копиры, кулачки и распределительные валы. Исполнительные органы станка, по исходной информации, представленной в виде аналога программы перемещений, воспроизводят заданную программу обработки заготовки.

Аналоговые системы управления классифицируют на следующие типы: замкнутые, незамкнутые, копировальные со следящим приводом. Системы управления замкнутого типа осуществляют контроль исполнительного органа станка по пути (путевые), времени (временные), скорости, мощности, давлению и другим параметрам. Системы управления с приводом от копира, кулачка, храпового механизма и другие, осуществляющие дозированное перемещение исполнительных органов станка, а также системы без усилителя мощности (копировальные прямого действия) относят к незамкнутым. Широкое применение в станках различных типов нашли копировальные системы со следящим приводом (гидравлическим, электрогидравлическим или электрическим).

Копировальные системы широко применяют для управления обработкой детали по одной, двум и трем координатам. Возможность быстрой смены программоносителя (копира) позволяет использовать их в условиях серийного производства.

Аналоговые системы управления позволяют повысить производительность механической обработки, но не обладают достаточной гибкостью. Это обуславливает высокую стоимость переналадки оборудования.

Частично или полностью программировать цикл работы станка, режим обработки и смену инструмента, задавать путем предварительно налаживаемых упоров величину перемещений его исполнительных органов можно с помощью системы циклового программного управления (ЦПУ). Будучи аналоговой системой управления замкнутого типа, она обладает высокой гибкостью, обеспечивает легкое изменение последовательности включения аппаратов

(электрических, гидравлических, пневматических и т. д.), управляющих элементами цикла.

Преимущество системы ЦПУ: простота конструкции и обслуживания, а также низкая стоимость; недостаток – трудоемкость размерной наладки упоров и кулачков. Станки с ЦПУ применяют в условиях серийного, крупносерийного и массового производства деталей простых геометрических форм. Этими системами оснащали токарно-револьверные, токарно-копировальные, лоботокарные, вертикально-фрезерные, копировально-фрезерные, вертикально-сверлильные, агрегатные станки, промышленные роботы (ПР) и др.

В систему ЦПУ входит программатор циклов, схема автоматики, исполнительное устройство и устройство обратной связи. Само устройство ЦПУ состоит из программатора циклов и схемы автоматики. Действия программатора циклов с исполнительными органами станка и датчиком обратной связи согласует схема автоматики, которая усиливает и размножает команды и может выполнять ряд логических функций, в том числе реализацию стандартных циклов. Сигнал поступает в исполнительное устройство, которое обеспечивает отработку заданных программой команд: включает исполнительные элементы (приводы исполнительных органов станка, электромагниты, муфты и т. д.) и исполнительные органы станка (суппорты, револьверные головки, столы и т. д.). Окончание обработки контролирует датчик, который дает команду блоку на включение следующего этапа программы.

Для задания команд существуют различные по конструкции программаторы. Например, кулачковый командоаппарат является программатором механического типа с кинематическим заданием программы. Его выполняют, например, в виде барабана с приводом от электродвигателя со встроенным редуктором. Барабан периодически поворачивается на определенный угол и фиксируется в заданном положении. На его цилиндрической поверхности, выполняющей роль панели, предусмотрены гнезда, в которые устанавливают штекеры (в виде шариков или штифтов). Количество гнезд по окружности барабана равно числу этапов программы, а вдоль образующей барабана – числу программируемых параметров. Информация считывается блоком путевых переключателей, при наличии штекера переключатель срабатывает и выдает команду. Конструктивно кулачковый командоаппарат часто выполняют дисковым. На торце такого диска, имеющего дискретный привод, сделаны гнезда. Информацию считывает блок путевых переключателей. На диске записывают (путем пробивки в определенных местах отверстий) требуемую информацию, считывание которой осуществляет фотоэлектрический прибор. Диск можно использовать многократно. Дискретный привод командоаппарата состоит из электромагнита и храпового механизма.

Программируемые командоаппараты (ПК), построенные на базе микроэлектроники, являются универсальными системами ЦПУ. Они

представляют собой управляющие логические машины последовательного действия.

Программируемый командоаппарат состоит из центрального процессора (управляющего устройства), постоянного запоминающего устройства, входного и выходного устройств генератора импульсов.

Программную панель (загрузчик программ), оснащенную декадными переключателями и клавишами с обозначением логических элементов можно подключать к персональному компьютеру. Программирование осуществляют последовательным нажатием клавиш. Программа записывается и запоминается в устройстве. В режиме работы считыватель информации поочередно подключает к процессору входное и выходное устройства. В процессоре, согласно программе, выполняются заданные логические операции, преобразующие состояния входов в состояния выходов для управления исполнительными устройствами.

Приведенные выше описание устройств программирования информации относятся к предыдущему поколению систем управления станками и оборудованием.

Наиболее высокий технический уровень в обработке достигается при использовании современных станочных комплексов, оснащённых числовым программным управлением.

Под числовым программным управлением (ЧПУ) понимают управление с помощью аппаратных и программных средств, обеспечивающее быстрый переход на различные программы работы оборудования путем набора её или записи условным кодом на программноносителе.

Основной функцией системы ЧПУ (СЧПУ) является управление шпиндельными узлами, приводами подачи станков, механизмом смены инструмента и другими узлами в соответствии с заданной программой. Обобщённая структурная схема СЧПУ работает следующим образом: устройство ввода программы преобразовывает её в электрические сигналы и направляет в устройство отработки программы, которое через устройство управления приводами воздействует на объекты регулирования. Подвижные элементы станков контролируют датчики, включенные в цепь обратной связи. С датчика обратной связи информация поступает в устройство отработки программы. Здесь происходит сравнение фактического перемещения с заданным по программе для внесения соответствующих коррективов в производимые перемещения. В результате формируется управляющее воздействие на исполнительные элементы (двигатели, электромагниты, электромагнитные муфты и др.), которые при этом включаются или выключаются.

Достоинство станков с ЧПУ – быстрое перенастраивание без смены или перестановки механических элементов, необходимо только изменить вводимую в станок информацию, и он начнёт работать по другой программе. Высокая универсальность станков с ЧПУ удобна в тех случаях, когда нужен быстрый

переход на изготовление другой детали, обработка которой на обычных станках требует использования специальной оснастки.

Точность размеров и формы обрабатываемой детали, а также требуемые параметры шероховатости поверхности обеспечиваются жёсткостью и точностью станка, дискретностью и стабильностью позиционирования и ввода коррекции, а также качеством СЧПУ.

Конструктивно системы ЧПУ бывают разомкнутыми, замкнутыми и самонастраивающимися; по виду управления движением – позиционными, прямоугольными, непрерывными (контурными).

Системы ЧПУ разомкнутого вида используют один поток информации. Программу считывает устройство, в результате чего на выходе последнего появляются командные сигналы, которые после преобразования направляют к механизму, осуществляющему перемещение исполнительных органов станка (например, суппортов). Контроль соответствия действительного перемещения заданному отсутствует.

В замкнутых СЧПУ для обратной связи используются два потока информации. Один поток поступает от считывающего устройства, а второй – от устройства, измеряющего действительные перемещения суппортов, кареток или других исполнительных органов станка.

У самонастраивающихся систем (CNC) информация, поступающая от считывающего устройства, корректируется с учётом поступающих из блока памяти сведений о результатах обработки предыдущей заготовки. За счёт этого повышается точность обработки, так как изменения условий работы запоминаются и обобщаются в устройствах самонастройки памяти станка, а затем преобразуются в управляющий сигнал. От простых СЧПУ CNC отличается автоматической приспособляемостью процесса обработки заготовки к изменяющимся условиям обработки (по определённым критериям) для лучшего использования возможностей станка и инструмента. Станки с простой СЧПУ отрабатывают программу без учёта действия случайных факторов, например, припуска, твёрдости обрабатываемого материала и состояния режущих кромок инструмента. CNC, в зависимости от поставленной задачи и методов её решения разделяют на системы регулирования какого-либо параметра (например, скорости резания и т. д.) и системы, обеспечивающие поддержание наибольшего значения одного или нескольких параметров.

В предлагаемом конспекте лекций рассматривается оборудование, оснащённое ЧПУ, которое находит наиболее широкое применение как в традиционных процессах обработки деталей различного назначения, так и в перспективных технологических процессах аддитивного производства.

## 1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЧПУ

Термины и определения основных понятий в области числового программного управления металлорежущим оборудованием устанавливает ГОСТ 20523-80 [2].

Некоторые из них приведены ниже. Следует учитывать обязательность использования определений, приведенных в ГОСТ, во всех видах документов, связанных с использованием оборудования с ЧПУ в промышленных целях. В стандарте приведены также недопустимые определения для всех понятий, а также их перевод на английский язык.

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

Позиционное числовое программное управление станком – числовое программное управление станком, при котором перемещение его рабочих органов происходит в заданные точки, причем траектории перемещения не задаются.

Контурное числовое программное управление станком – числовое программное управление станком, при котором перемещение его рабочих органов происходит по заданной траектории и с заданной скоростью для получения необходимого контура обработки.

Адаптивное числовое программное управление станком – числовое программное управление станком, при котором обеспечивается автоматическое приспособление процесса обработки заготовки к изменяющимся условиям обработки по определенным критериям.

Программное обеспечение системы числового программного управления станком – совокупность программ и документации на них для реализации целей и задач системы числового программного управления.

Устройство числового программного управления станком (УЧПУ) – устройство, выдающее управляющие воздействия на исполнительные органы станка в соответствии с управляющей программой и информацией о состоянии управляемого объекта.

Программируемое устройство числового программного управления станком – устройство числового программного управления станком, алгоритмы работы которого реализуются с помощью программ, вводимых в его память, и могут быть изменены после изготовления устройства.

Автоматическая работа системы (устройства) числового программного управления станком – функционирование СЧПУ (УЧПУ), при котором отработка управляющей программы происходит с автоматической сменой кадров управляющей программы

Покадровая работа системы (устройства) числового программного управления станком – функционирование СЧПУ (УЧПУ), при котором

отработка каждого кадра управляющей программы происходит только после воздействия оператора.

Управляющая программа в числовом программном управлении – совокупность команд на языке программирования, соответствующая заданному алгоритму функционирования станка по обработке конкретной заготовки.

Ручная подготовка управляющей программы – подготовка и контроль управляющей программы, в основном, без применения ЭВМ.

Автоматизированная подготовка управляющей программы – подготовка и контроль управляющей программы с применением ЭВМ.

Технологическая программа в числовом программном управлении – программа системы числового программного управления, обеспечивающая реализацию задач управления применительно к различным технологическим группам станков (токарные, фрезерные, сверлильные, КПО).

Программоноситель в числовом программном управлении – носитель данных, на котором записана управляющая программа (в качестве носителя данных могут применяться перфолента, магнитная лента, магнитный диск и запоминающие устройства различного типа и др.).

Кадр управляющей программы в числовом программном управлении – составляющая часть управляющей программы, вводимая и отрабатываемая как единое целое и содержащая не менее одной команды.

Слово управляющей программы в числовом программном управлении – составляющая часть кадра управляющей программы, содержащая данные о параметре процесса обработки заготовки и (или) другие данные по выполнению управления.

Ввод управляющей программы в числовом программном управлении – функционирование УЧПУ, при котором ввод данных в память УЧПУ с программоносителя происходит от ЭВМ верхнего ранга или с пульта оператора.

Вывод управляющей программы в числовом программном управлении – функционирование УЧПУ, при котором происходит вывод хранимой в памяти УЧПУ управляющей программы на носитель данных (при выводе управляющей программы могут выводиться дополнительные данные, используемые при отработке управляющей программы и хранящиеся в памяти УЧПУ, например, константы и т. п.).

Нулевая точка станка – точка, принятая за начало системы координат станка.

Точка начала обработки – точка, определяющая начало обработки конкретной заготовки.

Нулевая точка детали – точка на детали, относительно которой заданы её размеры.

Коррекция инструмента, коррекция скорости подачи (коррекция подачи), коррекция скорости главного движения – изменение с пульта управления запрограммированных координат (координаты) рабочего органа станка, изменение с пульта оператора запрограммированного значения скорости

подачи, изменение с пульта оператора запрограммированного значения скорости главного движения станка.

Устройство числового программного управления станком – устройство, выдающее управляющие воздействия на исполнительные органы станка в соответствии с управляющей программой и информацией о состоянии управляемого объекта.

Аппаратное устройство числового программного управления станком – устройство числового программного управления станком, алгоритмы работы которого реализуются схемным путём и не могут быть изменены после изготовления устройства.

Автоматическая работа системы (устройства) числового программного управления станком – функционирование СЧПУ (УЧПУ), при котором отработка управляющей программы происходит с автоматической сменой кадров управляющей программы.

Работа системы числового программного управления станком с пропуском кадров – автоматическая работа СЧПУ (УЧПУ), при которой не отрабатываются кадры управляющей программы, обозначенные символом «Пропуск кадра».

Покадровая работа системы (устройства) числового программного управления станком – функционирование СЧПУ (УЧПУ), при котором отработка каждого кадра управляющей программы происходит только после воздействия оператора.

Работа системы (устройства) числового программного управления станком с ручным вводом данных – функционирование СЧПУ (УЧПУ), при котором набор данных, ограниченный форматом кадра, производится вручную оператором на пульте.

Работа системы числового программного управления станком с ручным управлением – функционирование СЧПУ (УЧПУ), при котором оператор управляет станком с пульта без использования числовых данных.

## 2 СОВРЕМЕННЫЕ СТАНКИ ДЛЯ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ С ЧПУ

### 2.1 Общие сведения

Аббревиатура ЧПУ соответствует двум англоязычным – NC и CNC, – отражающим эволюцию развития систем управления оборудованием.

Системы типа NC (англ. Numerical control), появившиеся первыми, предусматривали использование жёстко заданных схем управления обработкой, например, задание программы с помощью штекеров или переключателей, хранение программ на внешних носителях. При этом каких-либо устройств оперативного хранения данных, управляющих процессоров не предусматривалось.

Более современные системы ЧПУ, называемые CNC (англ. Computer numerical control), – системы управления, позволяющие использовать для модификации существующих или написания новых программ программные средства.

Базой для построения CNC служат современный (микро) контроллер или (микро) процессор:

- микроконтроллер;
- контроллер с программируемой логикой;
- управляющий компьютер на базе микропроцессора.

Числовое программное управление (CNC) – область техники, связанная с применением цифровых вычислительных устройств для управления производственными процессами [3].

Оборудование с ЧПУ обычно представлено:

- станочным парком, например, станками (станки, оборудованные числовым программным управлением, называют станками с ЧПУ) для обработки металлов, дерева, пластмасс;
- приводами асинхронных электродвигателей, использующих векторное управление;
- характерной системой управления современными промышленными роботами;
- периферийными устройствами, например, 3D-принтером, 3D-сканером.

Приводные механизмы, получив команду от системы ЧПУ, начинают перемещать рабочий орган по траектории, описанной в управляющей программе (УП) оборудования. УП – набор команд в виде специальных кодов, называемых G-кодами и M-функциями и их аналогами, созданными на языке программирования ЧПУ.

Станки с числовым программным управлением используются в различных отраслях народного хозяйства.

Они обеспечивают следующие преимущества:

- производительность оборудования повышается в 3–5 раз по сравнению с аналогичными станками с ручным управлением;

– сочетается гибкость универсального оборудования при переналадке с точностью и производительностью станка-автомата, что обеспечивает решение вопроса комплексной автоматизации единичного и серийного производства;

– возможно качественное перевооружение машиностроения и приборостроения на базе современной электроники и компьютерной техники;

– снижается потребность в квалифицированных рабочих-станочниках, а подготовка производства становится областью инженерного труда;

– обеспечивается возможность автоматической смены инструмента и заготовок по программе;

– реализуется возможность организации многостаночного обслуживания, а в ряде случаев – безлюдного производства на основе роботов;

– повышается точность и качество обработки поверхностей различной формы;

– обеспечивается оптимизации режимов резания;

– сокращаются затраты времени на выполнение контрольных операций, которые могут выполняться непосредственно на станке с возможностью распечатки протоколов измерений размеров деталей;

– имеется возможность автоматической корректировки траекторий перемещений инструмента по результатам вычислений измерительными датчиками или лазерной измерительной системой;

– сокращается время пригоночных работ в процессе сборки, так как детали, изготовленные по одной программе, являются практически полностью взаимозаменяемыми;

– сокращаются сроки подготовки и перехода на изготовление новых деталей благодаря подготовке программ с использованием специальных программных продуктов вне станков и использованию более простой и универсальной технологической оснастки;

– снижается продолжительность цикла изготовления деталей и уменьшается запас незавершённого производства;

– сокращаются производственные площади, необходимые для организации производственного процесса;

– сокращается не только количество применяемого оборудования, но и их типы, снижаются затраты на специальный инструмент;

– сокращаются затраты времени на транспортирование деталей.

Повсеместное применение оборудования с ЧПУ стало возможным благодаря тому, что за последние 20 лет заметно стёрлась граница между техническими требованиями к технологическому оборудованию для массового, серийного и единичного производства.

Это обусловлено, во-первых, спросом рынка, требующего частой сменяемости объекта производства. Во-вторых, развитием методологии проектирования сложных технических объектов, появлением новых материалов и технологий. В-третьих, революционным развитием средств управления технологическим оборудованием на базе использования достижений

микроэлектроники и информационных технологий и методов контактного и бесконтактного контроля различных параметров заготовки и инструмента.

Основной особенностью оборудования с ЧПУ является то, что информация о заданном законе движения его управляемых (исполнительных) элементов представляется в виде управляющей программы. Совокупность команд представляет некоторую последовательность информации, занесенных в закодированном виде на какой-либо программноносителе. В качестве программноносителя на моделях станков первого поколения были использованы перфоленты, перфокарты, на моделях второго поколения – магнитные ленты.

Для современных моделей 4–5-го поколений информация записывается на жестких дисках промышленных компьютеров, встроенных в оборудование, дисках CD-R, флеш-картах и иных носителях информации. Управляющая программа физически не связана с размерами и точностью изготавливаемой детали, как в случаях применения шаблонов, кулачков или других носителей аналоговой информации в традиционных механических автоматах. Программой, вводимой в устройство ЧПУ станка или уже хранящейся в его памяти, задаётся закон движения как приводов подач, так и приводов главного движения и вспомогательных устройств, обеспечивающих изготовление из заготовки заданной детали.

Во многих случаях готовые решения на типовые детали из традиционных материалов и конструкций содержатся в программах и базах данных на материалы, инструменты, режимы обработки, записанных в память компьютера производителем станка или специализирующейся на создании программного обеспечения фирмой. Программисту необходимо лишь ввести конкретные исходные данные о геометрии, требуемой точности обработки, применяемом инструменте, выбрать стратегию обработки и некоторые другие параметры, а программное обеспечение по заложенному в него алгоритму оптимизирует режимы обработки, сгенерирует траектории рабочих и вспомогательных движений, произведёт расчёт необходимых параметров, выполнит генерирование и постпроцессирование созданной управляющей программы, сохранит полученные данные в виде электронного файла и т. д.

Современный интерфейс программного обеспечения, используемого при разработке управляющих программ для различного технологического оборудования, удобен и прост в работе, поскольку соответствуют привычному интерфейсу Windows. Чаще всего такое программное обеспечение устанавливают на персональных компьютерах технологов-программистов технологического бюро.

Созданная управляющая программа затем поступает в комплекс ЧПУ и в нём цифровая информация преобразуется в управляющие сигналы, которые передаются на исполнительные устройства оборудования для обеспечения заданных движений. Кроме этого, на станках практически всех типов управляющие сигналы руководят и другими функциями, например, изменением частоты вращения шпинделя, сменой инструмента и заготовки, поворотом и зажимом столов, кареток, ползунов, подачей охлаждающей жидкости и т. д.

Весьма важным вопросом при подготовке производства к выпуску различной продукции является целесообразность применения станков с ЧПУ.

Внедрение станков с ЧПУ является одним из главных направлений автоматизации в рамках предприятия средне- и мелкосерийного производства.

В станках с ЧПУ сочетается гибкость универсального оборудования с точностью и производительностью станка-автомата. В результате внедрения станков с ЧПУ происходит повышение производительности труда, создаются условия для многостаночного обслуживания. Подготовка производства существенно упрощается, облегчается переход на новый вид изделия вследствие заблаговременной подготовки управляющих программ обработки заготовок, что имеет большое значение в условиях рыночной экономики.

На станках с ЧПУ целесообразно изготавливать детали сложной конфигурации, при обработке которых необходимо обеспечивать перемещение рабочих органов по нескольким координатам одновременно, а также детали с большим количеством переходов обработки, которые за счёт концентрации операций могут полностью выполняться на станках с ЧПУ определённых типов. На этих станках можно изготавливать детали, конструкция которых часто видоизменяется.

Кроме этого, применение станков с ЧПУ позволяет решить ряд социальных проблем:

- улучшить условия труда;
- значительно уменьшить долю тяжелого ручного труда;
- существенно повысить эффективность работы производственных подразделений.

Опыт эксплуатации станков с ЧПУ выявляет следующие преимущества:

- снижение требований к квалификации оператора-станочника;
- упрощение и сокращение количества технологической оснастки;
- значительное повышение производительности станков.

Тенденции развития станков с ЧПУ:

– создание УЧПУ с применением микро-ЭВМ на микропроцессорах, применение в электроавтоматике станка с ЧПУ микроэлектроники, введение в систему станка диагностических устройств;

– широкое внедрение автоматизированных самоприспосабливающихся (адаптивных) устройств, обеспечивающих оптимизацию управления и обработки деталей;

– создание УЧПУ, управляющих как отдельными станками, так и группой станков. Управление от ЭВМ комплекта станков и роботов, складов, транспортных линий и контрольных устройств, обеспечивающих коррекцию погрешностей станков, планирование и контроль за работой производственного участка;

– внедрение автоматизированных приводов с большим диапазоном бесступенчатого регулирования частоты вращения шпинделя и применение более совершенных преобразователей и двигателей;

– использование в конструкции станков инструментальных магазинов различной ёмкости.

В общем случае конструкция станка с ЧПУ зависит от типов операций, выполняемых на нём. В последнее время на станках с ЧПУ выполняют технологические операции (или переходы), которые ранее осуществлялись на станках разных групп и типов. Так появились станочные комплексы, на которых можно выполнять токарные операции, фрезерование, нарезание резьбы, обработку шлицевых, шпоночных, зубчатых и фасонных поверхностей и другие виды обработки. Благодаря широким технологическим возможностям станки с ЧПУ обеспечивают концентрацию операций, существенно снижая непроизводительные потери времени.

## 2.2 Классификация станков

Для классификации моделей станков, в т. ч. с ЧПУ, используются буквенно-цифровые обозначения, в которых отражаются степень автоматизации, тип станка, класс точности, назначение станка и другие характеристики. Следует иметь в виду, что такая классификация (разработана ПАО «Экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков») относится лишь к станкам, произведённым на территории стран СНГ, и никак не отражает классификацию оборудования импортного производства.

В соответствии с классификацией ЭНИМС металлорежущие станки различают по следующим признакам:

– по весу: легкие (до 1 т), средние (до 10 т), тяжелые (свыше 10 т), уникальные (свыше 100 т);

– по габаритам: настольные, обычные и крупные;

– по степени универсальности: широкоуниверсальные и универсальные – выполняют самые разнообразные работы, используя заготовки, различающиеся по размерам, форме и расположению поверхностей; широкого назначения – используются однотипные режущие инструменты (многолезцовые, токарно-отрезные и др.); специализированные – для обработки однотипных заготовок разных размеров (например: трубоподрезные для обработки труб или станки для обработки коленчатых валов); специальные – выполняют только определенный вид работ на заготовках одинаковых размеров и формы.

– по степени автоматизации: с ручным управлением; полуавтоматы и автоматы; с программным управлением; обрабатывающие центры (многоцелевые станки).

В управляющих системах ЧПУ, которыми оборудуются станки с программным управлением, есть определённые схемы классификации.

В этом случае разделение выполняют по следующим параметрам:

– позиционные, прямоугольные, непрерывные, комбинированные станочные системы управления;

– по способу загрузки программ в систему: устанавливаются через диск, флэш-носитель, магнитную или перфорированную ленту;

– по типу привода: шаговый, ступенчатый, регулируемый с числом одновременно управляемых координат и погрешностью их задания;

– по степени автоматизации: оборудование обозначают буквой Ф и цифрой, и в его маркировке эти обозначения указывают в конце маркировки:

Ф1 – станок оснащён устройством цифровой индикации. Координаты перемещения вводятся с клавиатуры, каждый раз на один кадр программы;

Ф2 – в оборудовании используется позиционная (в сверлильных и координатно-расточных группах) или прямоугольная (во фрезерных, токарных и расточных группах) система управления;

Ф3 – оборудование с контурными или непрерывными СЧПУ, используя которые можно обрабатывать поверхности любой степени сложности;

Ф4 – ЧПУ станком управляет многооперационная комбинированная СЧПУ, в которой совмещаются возможности контурного и позиционного управления;

Ц – цикловое программное управление. Самая простая система автоматизации. Устанавливается на машины для производства однотипных деталей. Система циклового управления используется на станках с 2–3 точками позиционирования.

В маркировку обязательно вводятся индексы, отражающие наличие устройства автоматической смены инструмента (АСИ). Они обозначаются буквами: Р – смена и фиксация инструмента осуществляются поворотом револьверной головки; М – смена инструмента из специального барабана, так называемого, инструментального магазина. В маркировке моделей отечественных станков ЧПУ это буквенное обозначение ставят перед видом системы программного управления (Ф1, Ф2 и т. д.).

Кроме этого, указывают основные параметры станков ЧПУ: для сверлильной группы это – наибольший диаметр сверления, для расточной – диаметр шпинделя, для фрезерной – ширина рабочей поверхности стола, оборудование токарной группы характеризует максимально возможный диаметр обрабатываемого изделия;

– по расположению рабочих органов: горизонтальные и вертикальные, консольные и бесконсольные, поперечные и продольные, радиальные;

– по числу рабочих органов: одно- и многошпиндельные, одно- и многосуппортные;

– по точности установлено 5 классов: I класс – Н – нормальной точности, II класс – П – повышенной точности, III класс – В – высокой точности, IV класс – А – особо высокой точности, – V класс – С – особо точные станки.

Классификация по комплексу перечисленных признаков построена по десятичной системе. Все металлорежущие станки разделены по общности технологического метода обработки на 10 групп (с 0 по 9), каждая группа по различным признакам разбита на 10 типов (с 0 по 9), внутри каждого типа станки различаются по типоразмерам (т. е. по техническим характеристикам).

В соответствии с классификацией каждому станку присваивают определенный шифр.

Группа 0 – резервная, может быть использована в будущем.

1 – включает станки для точения: токарные, карусельные, револьверные и т.

п.

2 – станки для обработки отверстий: сверлильные, расточные и др.

3 – шлифовальные и заточные станки.

4 – комбинированные станки.

5 – зубо- и резьбонарезные станки.

6 – фрезерные станки.

7 – строгальные, протяжные и долбежные станки.

8 – станки для разрезания.

9 – разные станки: балансировки, правки и др.

Шифр модели станка состоит из трёх или четырёх цифр (иногда с добавлением прописных букв), обозначающих: первая цифра – группу, к которой относится станок; вторая цифра – тип станка; третья и четвертая цифры – типоразмер станка. Буква после первой цифры указывает на модернизацию станка. Буква после всех цифр обозначает модификацию базовой модели станка, т. е. видоизменение основной базовой модели. Однотипные станки со схожей компоновкой, кинематикой, но имеющие различные размеры, объединяются в размерный ряд. Например, зубофрезерные станки делятся на 12 типоразмеров в зависимости от изготавливаемых деталей (от 80 мм до 12000 мм). Каждый типоразмер станка, предназначенный для определенной обработки деталей, называется моделью. Каждая модель имеет свои обозначения: сочетание цифр и букв, указывающие на группу станка, предельные размеры заготовки, отличие от базовой модели.

Оборудование одного типа может иметь разную компоновку. Фрезерный станок может называться горизонтальным или вертикальным – по расположению оси шпинделя. Различаются кинематические схемы передачи перемещений, системы управления, параметры точности резания.

В качестве примеров предлагаются следующие обозначения: 16K20СФ3: 1 – токарный, 6 – винторезный универсальный, К – модернизированный, 20 – высота центров станка 200 мм, С – особо точный, Ф3 – контурная система ЧПУ; 2Н135А: 2 – сверлильный, Н – модернизированный, 1 – вертикально-сверлильный, 35 – максимальный диаметр сверления в мм, А – может работать в автоматическом цикле.

### **2.3 Конструктивные признаки оборудования с ЧПУ. Исполнение узлов и механизмов токарных станков**

Применение ЧПУ изменило характер организации производства и повлияло на конструктивное исполнение оборудования. Для использования преимуществ оборудования с ЧПУ необходимо соблюдение ряда жёстких

требований к его конструкции, без которого использование таких станочных систем малоэффективно.

Системы ЧПУ позволяют обеспечить высокую точность перемещения исполнительных органов (от 1 мкм и точнее). Для выполнения этого условия базовые узлы выполняют более жёсткими в сравнении с универсальным и специальным оборудованием, при этом станина должна обеспечивать удобный доступ к обрабатываемой заготовке, а также свободное удаление стружки, СОЖ и шлама, образующихся при обработке. С этой целью в станках, например, токарной группы применяют наклонные станины с плоскими или круглыми направляющими. В качестве направляющих используют преимущественно направляющие качения, гидростатические или на воздушной подушке, благодаря чему обеспечивается малый коэффициент трения, при этом направляющие выполняют более износостойкими. Разработана конструкция надёжной защиты направляющих от загрязнений и их автоматическая смазка, что обеспечивает долговечность работы станка с сохранением заданной точности. Вместо традиционных материалов для станин применяют керамические типа искусственного гранита, полимербетона или оксидной керамики, обладающие при меньшей массе ещё и меньшей чувствительностью к вибрациям и изменениям температур. На современных моделях станков (особенно электроэрозионных с линейными приводами) предусмотрено принудительное охлаждение станины и шпиндельных узлов через сеть каналов. Такое техническое решение гарантирует стабильность точности при длительной обработке.

По сравнению с традиционным обрабатывающим оборудованием у станков с ЧПУ изменился принцип построения кинематических схем. Разветвленные кинематические связи уступили место простым коротким цепям с отдельными приводами по каждому направлению перемещения. Наряду с асинхронными двигателями стали использовать шаговые и линейные приводы, обеспечившие более высокую точность позиционирования исполнительных элементов. При этом узлы привода главного движения осуществляют бесступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя и передачи крутящего момента, а механизмы привода подач выполняют с короткими кинематическими цепями и шариковыми винтовыми парами, которые обеспечивают высокую жесткость, плавность хода, минимальные потери на трение.

Широкое применение получило металлообрабатывающее оборудование с прямым приводом как главного движения, так и движения подачи. Пример прямого привода – это электрошпиндель, в котором ротор электродвигателя является единым цельным с телом шпинделя. Это техническое решение обеспечивает лучшую передачу мощности, высокую и стабильную точность обработки (благодаря отсутствию люфтов в передачах), отсутствие нагрева (что свойственно ременной или зубчатой передачам) и повышенной шумности в работе.

В станки с ЧПУ встраивают дополнительные автоматические устройства:

- подачи и смены инструмента;
- автоматической подачи, загрузки и закрепления заготовок на рабочей позиции;
- уборки стружки;
- выгрузки и транспортировки готовых деталей;
- смазки.

В металлорежущих станках изменилась конструкция самого шпинделя, в который встраивают устройства автоматического зажима и разжима инструмента. В инструментальном шпинделе и в качестве приводного инструмента револьверной головки можно использовать инструмент с внутренней подачей СОЖ.

Изменилась компоновка станков. Так, шпиндели токарных станков расположены, как правило, в отдельном корпусе передней бабки, вследствие чего обеспечиваются её минимальные исполнительные размеры и высокая жесткость. Симметричная форма бабки обеспечивает термическую стабильность и минимальное изменение размеров при повышении температуры. Переднюю опору шпинделя выполняют на спаренных подшипниках с предварительным натягом, что обеспечивает повышенную точность. Независимая смазка подшипников шпинделя снижает потери на трение и увеличивает их долговечность.

В конструкциях станков предусмотрена установка автоматических измерительных систем с обратной связью. По результатам измерения параметров инструмента и обработанных поверхностей заготовок деталей система определяет величину необходимой настройки станка и выдает сигнал для её осуществления.

Скорость выполнения действий системой управления чувствительных элементов (или быстроедействие) высока. Как правило, шаг опроса не превышает 0,001 сек., такт управления положением в пространстве менее 0,3 мс. Современные модели оборудования выполняют таким образом, что реальный процесс обработки через систему измерения и сопоставление его в компьютере с заданным процессом выводится в удобном для оператора виде на дисплей. Это позволяет визуально наблюдать за процессом обработки.

Внешний вид оборудования с ЧПУ отличается от традиционного – его формы упростились, не уменьшив при этом функциональность каждого элемента. Указанные изменения обусловлены, в основном, функциональными и эргономическими требованиями: 1) зоны обработки во многих процессах целесообразно закрывать створками, так как функционирование происходит в автоматическом режиме без участия оператора; 2) обеспечивается защита окружающей зоны от вылета стружки, разбрызгивания и испарения СОЖ, что связано с существенным увеличением интенсивности режимов обработки и охлаждения. Положительное следствие использования закрытой зоны обработки – снижение уровня шума, повышение безопасности персонала.

Более эффективно используются принципы агрегирования и унификации и это обстоятельство привело к появлению станков для комплексной

обработки (многооперационных центров) и интегрированных систем комплексной автоматизации на основе станков с ЧПУ и централизованного управления от ЭВМ.

Достижение заданной точности обработки обеспечивается соответствующим конструктивным исполнением основных узлов станка с ЧПУ той или иной группы и их техническими характеристиками.

### 2.3.1 Станины станков токарной группы

Станины станков токарной группы должны обеспечивать максимальную жёсткость и воспринимать возникающие в процессе обработки нагрузки и вибрации. Для этого их выполняют цельнолитыми, обычно наклонными, с оптимальной конфигурацией рёбер жёсткости и технологических карманов. Их конструкция на стадии проектирования проверяют и анализируют методом конечных элементов (так называемая FEM technology). Это позволяет значительно увеличить жёсткость станины на кручение.

Преимущества таких станин:

- оптимизированная конструкция, обеспечивающая высокую жёсткость;
- высокое сопротивление кручению;
- небольшие габариты;
- лёгкое удаление стружки;
- низкое тепловое расширение.

Пример станины, шпиндельного узла, двух револьверных головок и протившпинделя многокоординатного токарного центра NZX6000/4000 (фирмы DMG MORI) показан на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Токарный центр NZX6000/4000 (DMG MORI)

На рисунке 2.2 показан токарный обрабатывающий центр NL3000MC/3000 и его станина, рассчитанная по методу конечных элементов.

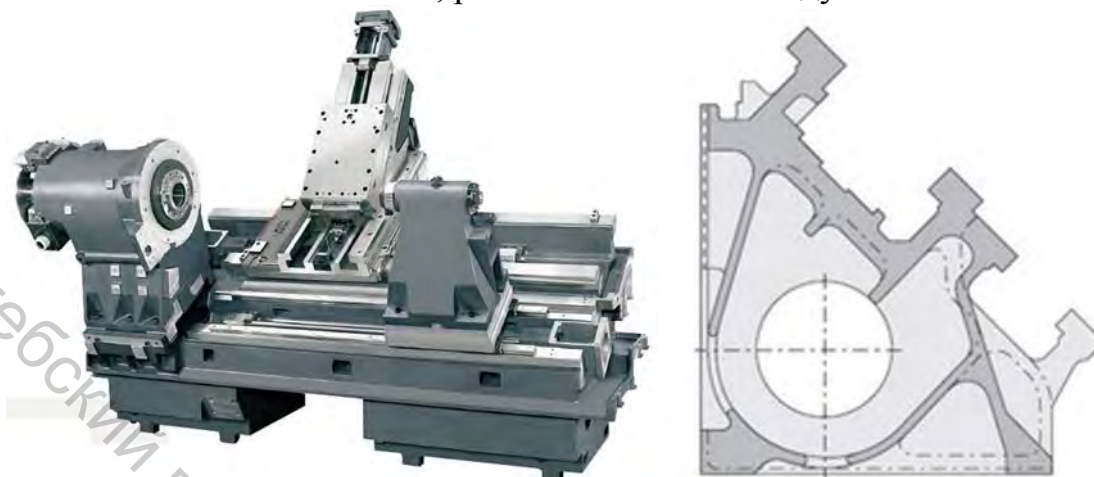


Рисунок 2.2 – Общий вид токарного станка с ЧПУ NL3000MC/3000 (DMG MORI) и его станина

### 2.3.2 Шпиндельные узлы

Шпиндельные узлы являются наиболее ответственными механизмами всех станков. От совершенства конструкции, а также от качества изготовления и сборки шпиндельного узла во многом зависит точность обработки. В последние годы в практике станкостроения наметилась тенденция к созданию жёстких конструкций шпинделей относительно небольшой длины. Повышение жёсткости шпинделей достигается за счёт увеличения диаметра или площади поперечного сечения, применения дополнительных опор, повышения жёсткости опор качения за счёт создания предварительного натяга и т. д. Для приводов вращения скоростных и точных станков шпиндели выполняют разгруженными от действия изгибающего момента шкивов приводных ремней или шестерен. Весьма важным является выбор типа последней передачи на шпиндель от источника движения.

Межопорное расстояние для шпинделей станков нормальной точности принимают равным 4–5 диаметрам шпинделя в передней опоре.

Жесткость шпинделей лёгких и средних станков нормальной точности, условно рассматриваемых в виде балки на шарнирных опорах с силой по середине, должна быть не менее 50 н/мкм. Для станков повышенной точности жёсткость принимают более 50 н/мкм.

Приводные шестерни и шкивы шпинделей должны выполняться по 6–7 степени точности, иметь плотные посадки и располагаться непосредственно у опор.

Основными критериями работоспособности шпиндельных узлов являются:

- геометрическая точность;
- жёсткость;
- быстроходность;
- долговечность;
- высокие динамические характеристики.

Точность вращения шпинделя оценивается величиной радиального или торцевого биения его базовых поверхностей. Величина этого биения зависит от класса точности станка и регламентируется соответствующим стандартом. Так, например, для токарных станков нормальной точности допуск радиального и торцевого биения составляет 5–8 мкм, у станков импортного производства такой показатель может достигать 2–5 мкм.

Быстроходность шпинделей оценивается произведением диаметра шпинделя  $d$  в передней опоре на частоту вращения  $n$ . Для шпиндельных узлов на подшипниках качения показатель быстроходности  $d \cdot n$  составляет  $(2,5-3) \cdot 10^6$  мм·об/мин.

Долговечность шпиндельных узлов оценивается ресурсом работы в часах без потери первоначальной геометрической точности.

Динамические характеристики шпинделей оцениваются амплитудами вибраций на потенциально-неустойчивых формах колебаний. Устойчивость динамической системы шпиндельного узла тем выше, чем выше первая собственная частота колебаний. Частоты собственных колебаний шпинделей изменяются в широких пределах (100–600) Гц и приводят к возбуждению автоколебаний при резании. Поэтому для обеспечения устойчивого резания приходится умышленно снижать режимы и производительность резания.

Материалами для изготовления шпинделей станков нормальной точности служат стали марок 45, 40Х с поверхностной закалкой наружных и внутренних посадочных поверхностей до твёрдости HRC 48–52. Шпиндели прецизионных станков, имеющие более сложную форму и работающие в условиях жидкостного трения, изготавливаются из хромоникелевых, цементируемых сталей марок 18ХГТ, 12ХН3А, 20Х с закалкой до твёрдости HRC 56–60. Для шпинделей станков сложной формы используют легированные стали марок 40ХН, 40ХГР, 50Х, ШХ15, ХВГ с объёмной закалкой до твёрдости HRC 56–60. В станках импортного производства используют аналоги перечисленных марок материалов.

На рисунке 2.3 показан DDS (Direct Drive Spindle) – высокотехнологичный мотор-шпиндель (главный или противошпиндель), который установлен на прецизионные подшипники и имеет активное охлаждение «масляной рубашкой».

Представленный шпиндель обладает следующими преимуществами:

- высокой надёжностью;
- высокой производительностью;
- высокой жёсткостью;
- термостабильной конструкцией;
- минимальными вибрациями в процессе работы;

- уменьшенными габаритами узла;
- сквозным отверстием большого диаметра для подачи заготовки в виде прутка;
- способностью работать длительное время на тяжёлых режимах;
- сокращением времени разгона и торможения;
- высоким крутящим моментом благодаря прямому приводу;
- бесступенчатым регулированием частоты вращения.

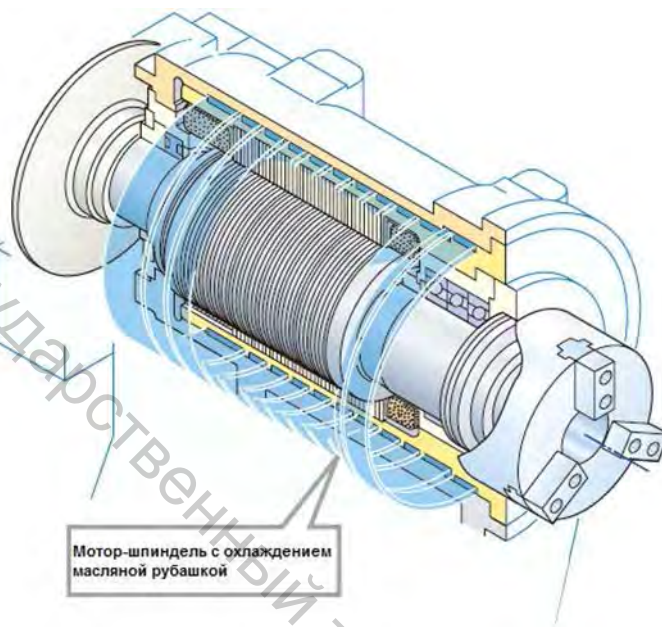


Рисунок 2.3 – Общий вид мотор-шпинделя токарного станка с ЧПУ

На самых современных моделях предусмотрено принудительное охлаждение не только шпинделя, но и станины, а также шпиндельных бабок через сеть каналов с охлажденным маслом. Такое техническое решение обеспечивает стабильность точности при длительной обработке особенно на высоких скоростях резания.

### 2.3.3 Направляющие станков

Направляющие станков выполняют более износостойкими в сравнении с направляющими скольжения, причём они обладают малым коэффициентом трения, что достигается за счёт использования трения качения, гидростатических и газостатических направляющих. Широко применяют линейные направляющие, которые изготавливают в виде блоков. Большие расстояния между стальными закалёнными направляющими и большие площади их опорных поверхностей обеспечивают малое распределённое давление, возникающее от усилий резания, отсутствие вибраций при тяжёлых режимах резания. Разработана надёжная защита от загрязнений и используется

автоматическая смазка направляющих, что обеспечивает долговечность работы станка с сохранением практически постоянной точности. Вместо традиционных материалов для станин (стали или чугуна) все чаще применяют керамические типа искусственного гранита, полимербетона, обладающие при меньшей массе к тому же и меньшей чувствительностью к вибрациям и изменениям температур, а также направляющие и станочные узлы на основе оксидной керамики.

Линейные направляющие обеспечивают перемещение подвижных узлов относительно неподвижных по двум и более взаимно перпендикулярным направлениям, которые называют линейными осями станка. Кроме них существуют и круговые оси, под которыми понимают вращение или поворот относительно соответствующих линейных осей.

Линейные направляющие представляют собой рельс с профилем сложной формы с двумя или четырьмя канавками, выполняющими роль дорожек качения, и установленные на нём одну или несколько линейных кареток. Общий вид линейной направляющей с одной кареткой показан на рисунке 2.4 а. На рисунке 2.4 б показано конструктивное исполнение линейной направляющей. Линейный подшипниковый узел имеет достаточно сложную конструкцию. В него входят корпус, механизм циркуляции тел качения (шариков или роликов), система удержания элементов качения для предотвращения их выпадения из каретки при снятии её с рельса, пылезащитные уплотнения, смазочный ниппель.

Улучшенные конструкции также предусматривают наличие сепаратора между элементами качения и дополнительные прокладки для смазки.

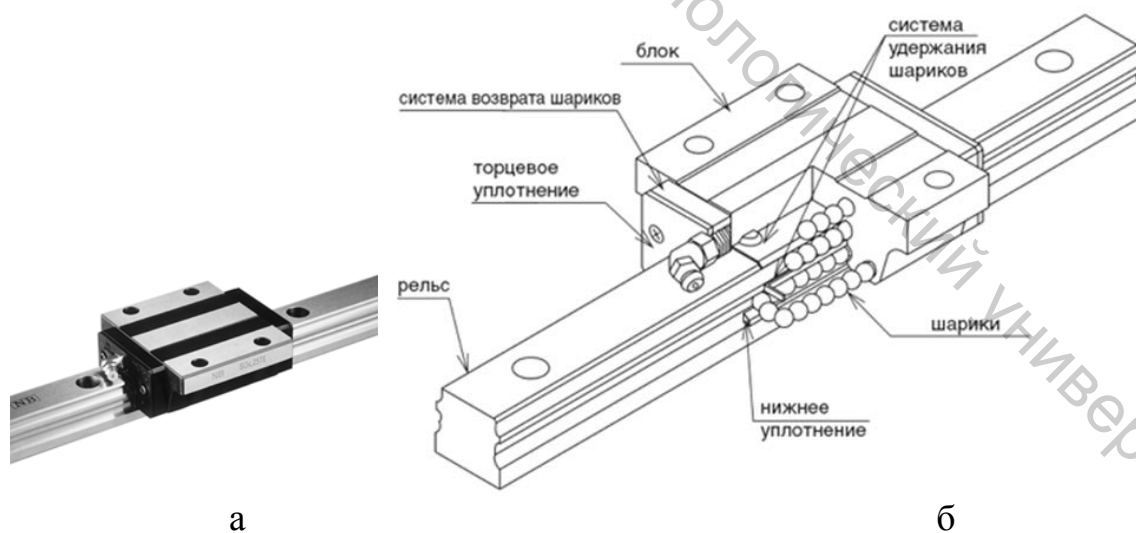


Рисунок 2.4 – Линейные направляющие станка с ЧПУ:  
а – общий вид; б – схема устройства

Как правило, рельсы изготавливаются из качественных сортов хромистой или коррозионностойкой (нержавеющей) стали и подвергаются высокоточному шлифованию. Твёрдость увеличивается до 58–64 HRC путём индукционной

закалки. Закрепление на станине осуществляется посредством гладкостенных или резьбовых отверстий в рельсе.

Для дополнительной защиты от коррозии вся система может быть покрыта специальным напыляемым составом или изготовлена целиком из нержавеющей стали. Предусмотрена также возможность установки гофрированных рукавов и дополнительных уплотнений со скребками для предотвращения повреждения кареток крупной металлической или деревянной стружкой, а также прикипевшими брызгами сварки (на установках плазменной резки).

Для выбора линейных направляющих устанавливают определённые параметры. Кроме габаритных и присоединительных размеров линейные направляющие характеризуются также грузоподъёмностью, классом точности и предварительным натягом (указанные показатели приведены в каталогах производителей линейных направляющих).

Показатель грузоподъёмности каждого конкретного типоразмера линейного подшипника позволяет оценить его эксплуатационный ресурс при заданных условиях.

Класс точности отражает величину допусков на размеры, с которыми изготовлены рельсы и подшипники, а также допуски всей системы «каретка – линейная направляющая» в сборе.

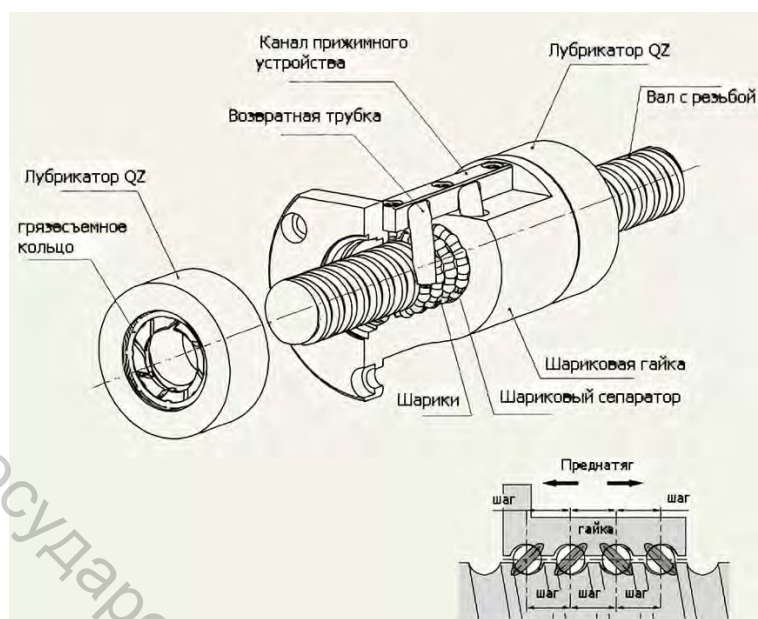
Предварительный натяг – это дополнительные напряжения, приложенные к подшипнику в процессе его изготовления, что достигается установкой шариков большего диаметра. В зависимости от класса предварительного натяга будет изменяться максимальная величина упругой деформации элементов линейного подшипника при приложении к нему нагрузки. Чем больше предварительный натяг, тем меньшая деформация возникнет от заданной силы. Иными словами, предварительный натяг позволяет увеличить жёсткость системы за счёт приложения строго заданной постоянной дополнительной нагрузки.

#### **2.3.4 Конструкции ШВП**

Для передачи движения исполнительным органам станков с ЧПУ используют шариковые винтовые передачи (ШВП).

Все виды ШВП предназначены для преобразования вращательного движения в поступательное. Конструктивно они состоят из корпуса и ходового винта, между которыми располагаются тела качения. Отличаются друг от друга размерами и техническими характеристиками. Основным требованием такой передачи является минимизация трения во время работы. Для этого поверхности комплектующих проходит процесс тщательной обработки (шлифования). В результате во время движения ходового винта не наблюдается резких скачков его положения относительно корпуса гайки с подшипниками. Подобная схема увеличивает динамические характеристики ШВП для станков с ЧПУ, значительно повышает КПД.

Конструкция и общий вид шариковой винтовой передачи приведена на рисунке 2.5.



а



б

Рисунок 2.5 – Шариковая винтовая передача:  
а – конструктивное исполнение; б – общий вид ШВП

Основными элементами шариковой винтовой передачи служат:

- ходовой винт – предназначен для преобразования вращательного движения в поступательное; на его поверхности выполнена резьба с заданным шагом;
- корпус, который во время вращения ходового винта перемещается в продольном направлении; корпус устанавливается в подвижных частях оборудования (столах, ползунах, каретках и т. д.);
- шарики и вкладыши, обеспечивающие плавное перемещение корпуса относительно оси ходового винта.

В отличие от представленной передача винт-гайка скольжения характеризуется быстрым износом элементов пары и худшими динамическими характеристиками.

С целью устранения осевого зазора в сопряжении винт-гайка и повышения тем самым осевой жёсткости и точности перемещения ведомого элемента ШВП собирают с предварительным натягом.

Для передачи с полукруглым профилем резьбы натяг создают установкой двух гаек с последующим относительным их осевым смещением.

Относительное смещение гаек осуществляют установкой прокладок между ними или их относительным угловым поворотом.

Технические условия на шариковые винтовые передачи, применяемые в станкостроении, установлены ГОСТ 2 P31-5-89. Этот стандарт распространяется на ШВП, применяемые для комплектации металло- и деревообрабатывающих станков, промышленных роботов, кузнечно-прессового оборудования. Стандарт устанавливает основные размеры, основные параметры, комплектность, маркировку, порядок и состав приёмосдаточных испытаний, упаковку, условия транспортирования и хранения, указания по эксплуатации и гарантии завода-изготовителя. В стандарте учтены требования международных стандартов ISO/DP 8931, ISO/DP 8932, ISO/DP 3408, ISO/DP 9783, ISO/DP 9784.

Станочные элементы в виде линейных направляющих и ШВП и их элементы производят и поставляют на рынок республики специализированные предприятия (HIWIN, THK, TECHNIX, SKF и др.).

Относительная простота конструкции и возможность изготовления шариковой винтовой передачи с различными характеристиками расширяет область их применения. В стоящее время ШВП являются неотъемлемыми компонентами не только станков с числовым программным управлением. Плавный ход и практические нулевое трение делают их незаменимыми компонентами в точных измерительных приборах и машинах, установок медицинского назначения, в машиностроении.

На рисунке 2.6 показаны ШВП, размещённые на станке с ЧПУ.

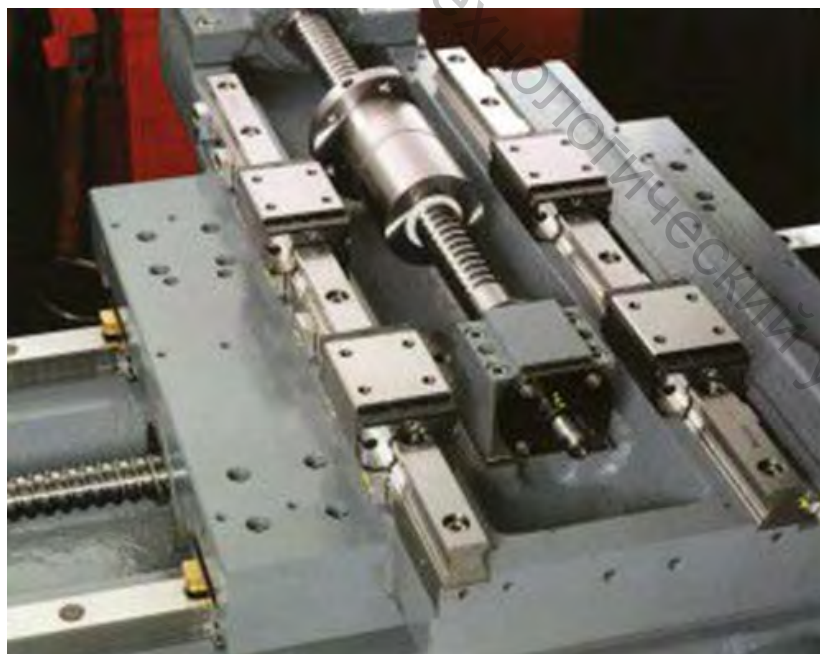


Рисунок 2.6 – Пример размещения ШВП и линейных направляющих на станке с ЧПУ

Использование ШВП стало возможным благодаря следующим преимуществам:

- минимизация потерь на трение и, соответственно, высокий КПД;
- высокий коэффициент нагрузочной способности при небольших габаритах конструкции;
- низкая инерционность;
- отсутствие шума и плавность хода.

Основным параметром ШВП для станков с ЧПУ является класс точности.

Он определяет степень погрешности положения подвижной системы согласно расчётным характеристикам.

По параметрам точности ШВП разделяют на позиционные и транспортные (ОСТ 2 Р31-7-88). Позиционные ШВП позволяют произвести косвенное измерение осевого перемещения в зависимости от угла поворота и шага резьбы винта. В транспортных ШВП перемещения измеряют прямым методом с помощью отдельной измерительной системы, не зависящей от угла поворота винта.

При проектировании, в соответствии с основными критериями работоспособности шариковых винтовых передач, расчёт ведут по динамической грузоподъемности для предупреждения усталостного разрушения (выкрашивания) рабочих поверхностей и по статической грузоподъемности для предупреждения пластического деформирования тел и поверхностей качения.

Передачи требуют хорошей защиты от загрязнений. Наиболее часто применяют гармоникообразные меха, телескопические кожухи и съёмники загрязнений – пластмассовые уплотняющие гайки с двумя-тремя выпуклыми витками по профилю канавок винта. Съёмники загрязнений крепят к каждому торцу основной гайки.

При выборе ШВП необходимо учитывать следующие параметры:

- отношение максимальной и необходимой скорости двигателя;
- общую длину резьбы ходового винта;
- средние показатели нагрузки на всю конструкцию;
- значение осевой нагрузки – предварительный натяг;
- геометрические размеры винта и гайки;
- параметры электродвигателя – крутящий момент, частоту вращения, мощность и другие характеристики.

### **2.3.5 Линейные сервоприводы в конструкциях станков с ЧПУ [4]**

В последнее время в производство широко внедряются технологии высокоскоростной (High Speed Cutting (HSC, HSM) и высокопроизводительной (HPM – High Productivity Machining) механической обработки и соответствующие станки для её реализации [5]. Для внедрения таких методов необходимы современные приводы подач подвижных элементов станков и высокоскоростные шпиндели. В качестве приводов подач, обладающих

высокими динамическими характеристиками, применяют так называемые линейные двигатели.

Прототипом линейного двигателя является простейшая электромагнитная система, которая состоит из металлического сердечника-магнита и статорной обмотки (рис. 2.7) [6]. При подаче тока определенной полярности в обмотку сердечник сместится в ту или иную сторону. Изменение полярности сигнала на обмотку приведет к обратному ходу сердечника. При этом от источника энергии к рабочему органу нет никаких промежуточных элементов, передача энергии осуществляется через воздушный зазор, возможно осуществление главной задачи – осуществления прямолинейного движения рабочего органа.

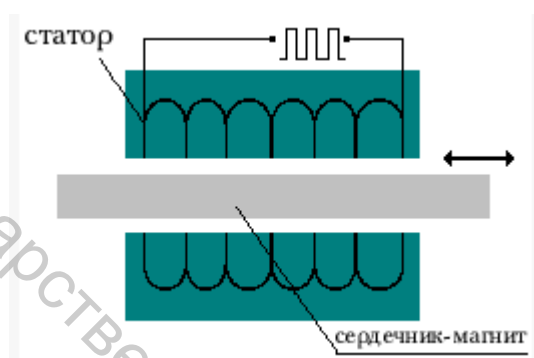


Рисунок 2.7 – Пример электромагнитной системы линейного привода

На рассмотренном принципе работают все элементы электроавтоматики, системы электротормозов, системы защиты, специальное оборудование ударного типа и т. д. Опыт использования электромагнитных систем выявил их достоинства: простота конструкции и применения, практически мгновенная остановка и реверс, быстрота срабатывания, большие усилия, простота настройки.

Однако до недавнего времени отсутствовала возможность регулирования скорости рабочего органа в электромагнитной системе и регулируемого поступательного движения. Без этой возможности применить электромагнитный привод как движитель в оборудовании было невозможно.

Потребовались многие годы работы ученых и конструкторов в разных странах, прежде чем был достигнут успех. Особенно интенсивно велись работы в Японии, где электромагнитный привод как линейный двигатель был впервые успешно использован в качестве движителя сверхскоростных поездов. Там же были попытки создания линейных приводов для металлообрабатывающих станков, но они имели существенные недостатки: создавали сильные магнитные поля, испытывали нагрев и не обеспечивали равномерности в движении рабочего органа. Лишь в конце тысячелетия начался серийный выпуск станков, в основном, электроэрозионных, с принципиально новыми линейными двигателями, в которых решены все проблемы по обеспечению равномерного движения исполнительных механизмов. Решение проблем позволило обеспечить сверхвысокую точность перемещений, оцениваемую

долями мкм, большой диапазон регулирования скорости, обеспечило поступательное и реверсивное движение с большими ускорениями, позволило выполнять простое обслуживание и наладку приводов и др. преимущества. Японская компания Sodick Co., Ltd. первой сумела решить сложнейшие конструкторско-технологические задачи и вывела линейные двигатели на новый уровень.

При этом конструкция линейного двигателя практически не изменилась по сравнению со схемой электромагнитной системы. Сам двигатель состоит всего из двух элементов – электромагнитного статора и плоского ротора, между которыми существует лишь воздушный зазор. Третий обязательный элемент – оптическая или другая измерительная система с высокой дискретностью (0,1 мкм и точнее). Без неё система управления станком не может определить текущие координаты подвижного элемента. При этом и статор, и ротор выполнены в виде плоских, легко снимаемых блоков: статор крепится к станине или колонне станка, ротор – к рабочему органу (рис. 2.8).

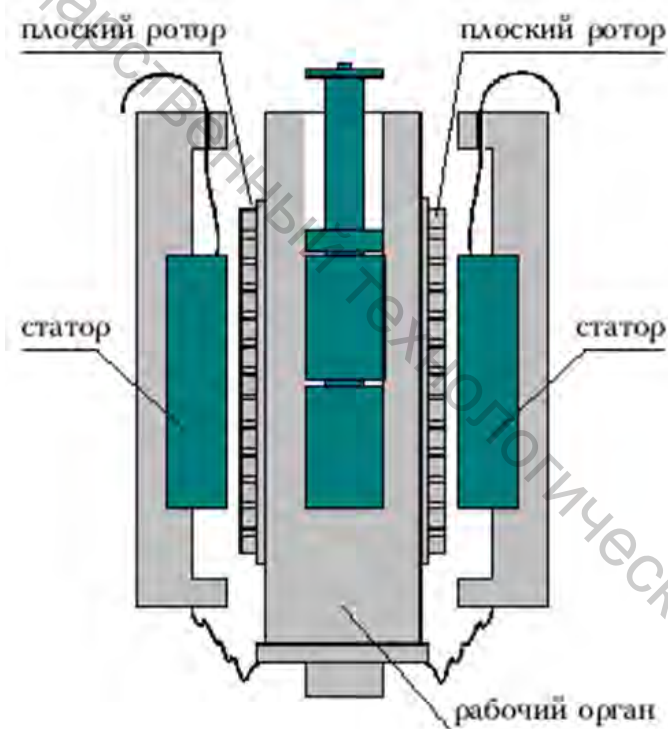


Рисунок 2.8 – Схема исполнения линейного привода шпинделя электроэрозионного станка

Ротор, выполненный охлаждаемым, состоит из ряда прямоугольных редкоземельных постоянных магнитов. Магниты закреплены на тонкой плите из специальной высокопрочной керамики, коэффициент температурного расширения которой в два раза меньше, чем у гранита. Использование керамики совместно с эффективной системой охлаждения решило проблемы линейных приводов, связанные с температурными факторами, с наличием сильных магнитных полей, жесткостью конструкции и т. п. Статор исполнен в

виде прямоугольного блока и крепится несколькими болтами к несущей конструкции станка. В приводе оси Z – два статора. Они размещены по обе стороны вертикального ползуна. К каждому статору крепятся два патрубка системы охлаждения статора и кабели подвода энергии и управления. Пластина ротора жестко крепится болтами к подвижной каретке. Система специальных направляющих и пневмопротивовесом обеспечивают исключительную легкость хода каретки, практически без усилий. Приводы по осям X, Y прошивочных станков и в приводах X, Y, U, V проволочно-вырезных станков проще – в них установлено по одному линейному двигателю.

Точная и равномерная подача рабочего органа во всем диапазоне скоростей и нагрузок обеспечивается двумя техническими решениями, разработанными специалистами Sodick:

- крепление постоянных магнитов под определенным фиксированным углом, который был открыт в ходе экспериментальных исследований;
- реализация высокоэффективной 6-фазной импульсной системы управления (система SMC).

Компания Sodick организовала серийный выпуск широкой гаммы линейных двигателей со следующими характеристиками: ходом подачи от 100 до 2220 мм, максимальной скоростью перемещения рабочего органа до 180 м/мин при ускорении до 20G и точности исполнения заданных перемещений в нормальном режиме работы равной 0,0001мм (0,1 мкм). Нагрев линейного двигателя при работе не превышает +2° C от температуры помещения. Обеспечивается практически мгновенная остановка рабочего органа, его реверс, моментальная реакция привода на команды системы ЧПУ и т. д. На один и тот же рабочий орган монтируется (например, для увеличения мощности) несколько линейных двигателей. Так, в частности, устроен привод оси Z всех электроэрозионных прошивочных станков Sodick.

Схемы линейных приводов других производителей, в частности, Siemens, и способы управления такими приводами приведены в источнике [7].

Аналогичные линейные приводы используют в обрабатывающих центрах Sodick для высокоскоростной обработки электродов и закалённых деталей пресс-форм и штампов, обработки специальных материалов (акрила, твердых сплавов и т. д.), при микрообработке, а также при фрезеровании деталей, полученных с помощью аддитивных технологий.

Линейные двигатели обеспечивают динамику подач с ускорением 1 G и более и, обладая дискретностью подач 0,1 мкм, – высокую точность позиционирования. В отличие от ходовых винтов линейные двигатели не подвержены механическому износу.

На фрезерных станках установлены роликовые направляющие, обеспечивающие большую стабильность за счет линейного контакта в поперечном направлении рабочей поверхности направляющих, двухстороннюю опору, а также высокую жёсткость и способность к гашению вибраций. Роликовые направляющие обеспечивают скорость подачи до 5 м/сек, а также

большую точность и нагрузку по сравнению с обычными шариковыми направляющими.

Конструктивное исполнение станков с ЧПУ фрезерной группы применительно к обработке заготовок, полученных с использованием аддитивных технологий, более подробно можно рассмотреть, используя источник [8] (раздел ADDITIVE MANUFACTURING).

### 2.3.6 Револьверные головки токарных станков. Способы крепления инструментов

В настоящее время токарные станки с ЧПУ оснащаются револьверными головками под различные типы хвостовиков инструментов BMT, VDI, STD. Револьверные головки изготавливают с числом гнезд от 4 до 16 (24). Пример револьверной головки приведен на рисунке 2.9.

Возможны варианты специального исполнения гнезд головок под установку инструментов. Инструменты могут быть как неприводными, так и приводными. Для достижения высокой точности обработки необходимо обеспечить точную установку и фиксацию инструментов в головках станков.

Наибольшее распространение получили две наиболее распространенные системы крепления инструмента для токарных обрабатывающих центров с приводным инструментом – BMT и VDI. Их используют в виде инструментальных блоков.



Рисунок 2.9 – Пример размещения револьверной головки с приводными и неприводными инструментами на станке с ЧПУ

В неприводных головках устанавливают резцовые блоки, свёрла, расточные головки и другие инструменты.

Пример резцовых блоков приведен на рисунках 2.10 а,б.



а



б

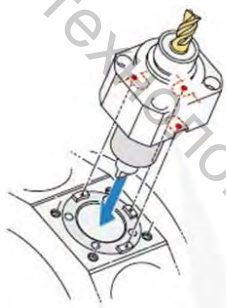
Рисунок 2.10 – Резцовый блок для установки резцов на станке с ЧПУ:

а – радиальный; б – осевой

На рисунках 2.11 а, б приведены примеры блоков для установки в револьверные головки приводных инструментов.



а



б

Рисунок 2.11 – Блоки для установки приводных инструментов на токарном станке с ЧПУ:

а – угловой; б – радиальный

Револьверная голова с торцовым креплением инструмента обеспечивает установку инструментальных державок как для внутренней, так и для наружной обработки. Наличие приводного инструмента позволяет выполнять разнообразные сверлильные и даже фрезерные операции, что значительно расширяет возможности станка. Быстрая смена инструментов сокращает простой оборудования и повышает производительность станка в целом.

Токарно-фрезерные станки, изготавливаемые многими производителями, оснащаются револьверными головками с креплением инструмента по стандарту

VDI. Он представляет собой цилиндрический хвостовик с рейкой для затягивания оправки. Этот стандарт применяют давно, и он стал привычным, т. к. имеет ряд неоспоримых преимуществ. Главным из них является короткое время установки/снятия оправки. BMT и VDI имеют следующие отличия: BMT имеет больший посадочный диаметр, крепится 4 болтами. VDI имеет меньший посадочный диаметр и крепится клином. BMT имеет бóльшую жесткость. Инструментальный блок подвержен меньшей вибрации. Использование 3 позиционирующих шпонок в сочетании с четырьмя винтами для закрепления инструментального блока позволяет достичь высокой жёсткости соединения. Это позволяет максимально эффективно использовать жёсткий инструмент при высокоскоростной обработке.

Перед установкой на станке и непосредственно перед обработкой заготовки точно измеряют длину инструмента, поскольку она учитывается при составлении управляющих программ обработки деталей.

В револьверной головке с прямым приводом двигатель встроен таким образом, что механизм передачи движения отсутствует, снижая вибрации, возникающие в процессе работы. Предусмотрена также «охлаждающая рубашка» для уменьшения температурных деформаций. Конструкция револьверной головки с прямым приводом показана на рисунке 2.12.

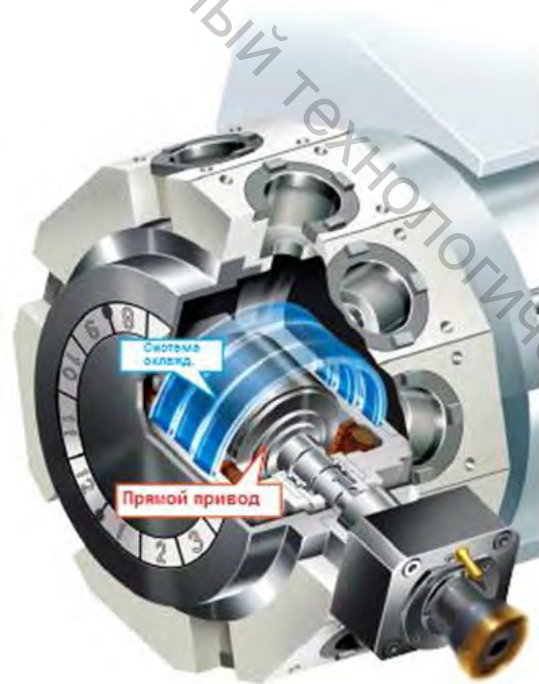


Рисунок 2.12 – Конструктивное исполнение револьверной головки с прямым приводом для токарно-фрезерного станка с ЧПУ

Такие конструкции обеспечивают ряд преимуществ: высокий КПД; минимальный нагрев; минимальные вибрации; высокую скорость индексации по углу поворота; пониженный уровень шума; высокую скорость резания.

Оси инструментов могут быть направлены радиально к оси головки, параллельно или под углом к ней. В последнем случае число позиций в головке может быть увеличено, так как расположение инструментов, соседних по отношению к находящемуся в рабочей позиции, позволяет увеличить длину рабочего хода головки.

### 2.3.7 Задние бабки. Общая компоновка токарного станка с ЧПУ

Токарные станки могут комплектоваться задней бабкой для обработки заготовок, длина которых более пяти диаметров, люнетами (подвижными и неподвижными) для увеличения жёсткости обрабатываемых заготовок при большой длине обрабатываемой заготовки, а также контршпинделем (противошпинделем), который используют при выполнении обработки заготовок на станке за два установа.

Общий вид задней бабки показан на рисунке 2.13.

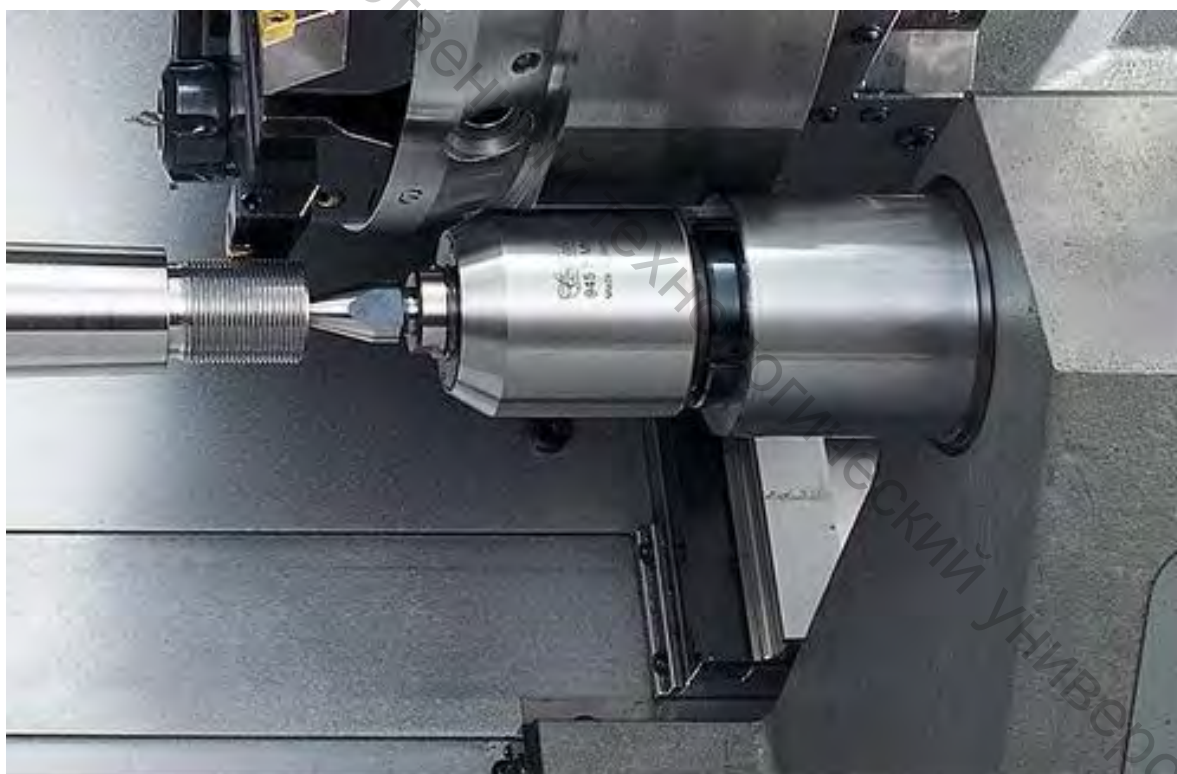


Рисунок 2.13 – Задняя бабка токарного станка с ЧПУ

Она предназначена для увеличения жёсткости заготовок и повышения точности их обработки. Их выполняют с широкими направляющими, что обеспечивает необходимую точность даже при тяжёлых режимах резания. Отверстие пиноли задней бабки выполняют конусным (МК4–МК6). Задняя

бабка может управляться М-кодами (по программе), а также в ручном режиме с помощью нажатия кнопок управления, расположенных на стойке ЧПУ.

Для обеспечения стабильной работы станки снабжают резервуаром для хранения СОЖ и насосом для её подачи в зону резания, а также транспортёрами для сбора и удаления стружки из зоны обработки.

Общий вид токарного станка DMG MORI с представленными выше компонентами показан на рисунке 2.14 [9].

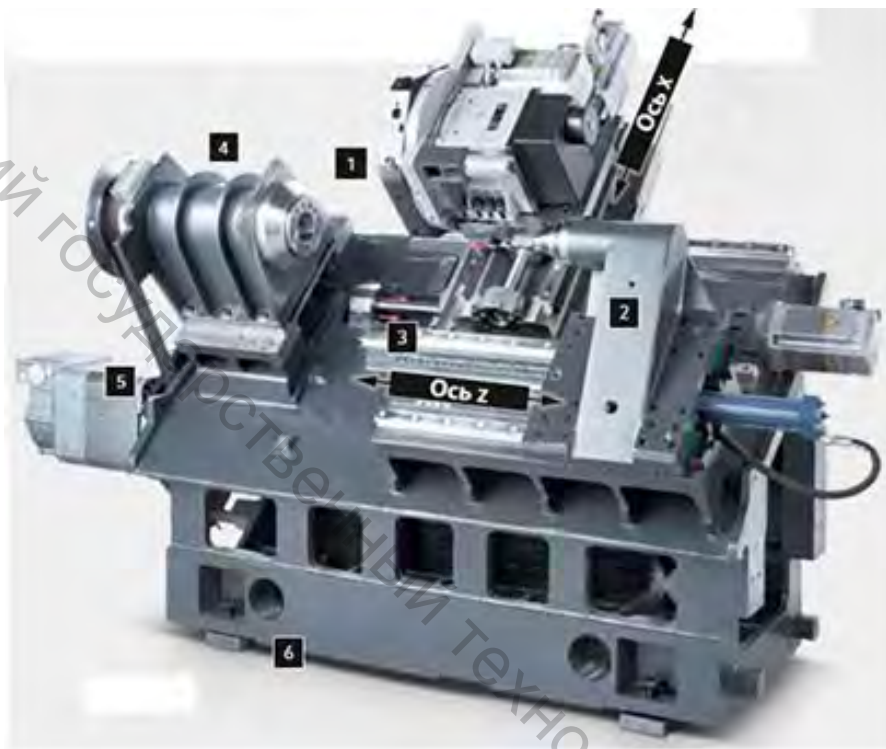


Рисунок 2.14 – Токарный станок СТХ 310 (без ограждений):

- 1 – револьверная головка с сервоприводом; 2 – задняя бабка с приводом;
- 3 – линейные направляющие осей X, Z; 4 – шпиндель (диаметр отверстия 51 мм); 5 – электродвигатель привода шпинделя (макс. 5000 об/мин.); 6 – станина (чугун)

Наличие 4-х поперечных направляющих обеспечивает возможность независимого перемещения задней бабки и револьверного суппорта. Направляющие оси Z закрыты защитными кожухами, что повышает безопасность и увеличивает срок службы данного узла станка. Все направляющие выполнены в виде направляющих качения с предварительным натягом. Приводы перемещений в продольном (ось Z) и поперечном (ось X) направлениях обеспечиваются электродвигателями переменного тока. Движение передается при помощи ШВП с предварительным натягом и двумя подшипниковыми опорами. Револьверная головка может иметь 12 инструментальных позиций с неприводными или приводными инструментами. Выбор инструментальной позиции для выполнения обработки неприводными и приводными инструментами осуществляется автоматически по кратчайшему углу поворота. Держатели неприводных инструментов выполнены по



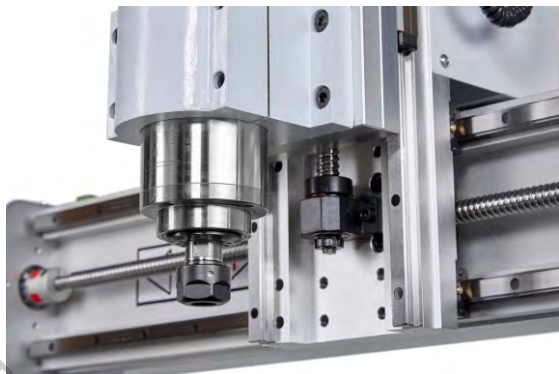
HEIDENHAIN, MITSUBISHI и FANUC, которые обеспечивают выполнение самых сложных задач.

На рисунке 2.16 представлен общий вид вертикально-фрезерного обрабатывающего станка в пятикоординатном исполнении, в котором обеспечивается управление по трём взаимно перпендикулярным осям X, Y, Z, но и дискретный или непрерывный поворот стола относительно оси Z (ось C), а также относительно оси Y (ось B). Конструктивное исполнение узлов станка, обеспечивающих линейное перемещение по направлениям X, Y, Z обеспечивается с помощью линейных направляющих и ШВП, аналогичных узлам станков токарной группы (рис. 2.17 а, б). Привод ШВП может осуществляться от серводвигателей не только напрямую, но и с помощью зубчатой ременной передачи (рис. 2.18).



Рисунок 2.16 – Конструктивное исполнение пятиосевого фрезерного обрабатывающего центра DMU 50 (без кабины):

1 – станина; 2 – поддон; 3 – поворотный стол; 4 – инструментальный магазин; 5 – панель ЧПУ; 6 – ось X



а

б

Рисунок 2.17 – Линейные направляющие и ШВП:  
а – оси X, Z; б – ШВП оси X с серводвигателем



Рисунок 2.18 – Передача с зубчатым ремнем привода  
продольной каретки оси X

Шпиндели станков обеспечивают частоту вращения 15000–20000 об/мин, скорости подачи достигают 24000 мм/мин, ускорение до 2G.

Точность обработки на протяжении длительного времени фрезерования достигается применением комплексной системы охлаждения (рис. 2.19) и использованием системы прямого измерения хода по всем осям с помощью оптических (или лазерных) датчиков линейных перемещений, например, в виде, представленном в [10].



Рисунок 2.19 – Термостабилизируемые элементы в конструкции фрезерного станка с ЧПУ

Использование станков с ЧПУ фрезерной группы в 3–5-координатном исполнении обеспечивает точную обработку сложных по конструкции деталей за минимально возможное количество установов. Примеры обработанных деталей приведены на рисунке 2.20.



а



б

Рисунок 2.20 – Примеры деталей, обработанных на станках фрезерной группы с ЧПУ:

а – крышка (материал – сплав алюминия); б – корпус торцевой фрезы (сталь)

## 2.5 Конструктивное исполнение оборудования с ЧПУ для заготовительного производства

К данным станкам относят:

- ленточнопильные станки;
- установки плазменной резки;
- установки лазерной резки;
- установки гидроабразивной резки;
- фрезерные станки для группового раскроя листовых материалов;
- листопробивные станки с ЧПУ.

Для эффективной работы обрабатывающих станков с ЧПУ необходимо обеспечить заготовительное производство высокопроизводительным оборудованием, которое позволит в короткие сроки производить исходные заготовки в требуемом количестве.

Достаточно часто исходные заготовки получают из сортового проката. Для их разделения используют ленточнопильные станки с ЧПУ [11].

Общий вид такого станка с механизмом автоматической подачи заготовок показан на рисунке 2.21.



Рисунок 2.21 – Общий вид ленточно-отрезного станка с ЧПУ

Такие станки универсальны, т. к. могут применяться не только для резки металла, но и для разделения заготовок из дерева, полимеров и других материалов. Они подходят для выполнения прямых, фигурных и контурных резов.

В качестве рабочего инструмента используется ленточная пила. Резка на станке с ленточной пилой выполняется перпендикулярно оси оборудования или под углом (не превышающим  $60^\circ$ ).

Для этого изменяют положение рабочего полотна, поворачивают подвижную раму, на которой крепится пила, или разворачивают рабочую поверхность, на которой закреплена исходная заготовка.

На рынке представлены ленточнопильные станки с ЧПУ разных моделей и марок. Все они делятся на следующие категории:

- консольные или маятниковые;
- одно- и двухстоечные;
- портального типа;
- вертикальные;
- горизонтальные.

Основу конструкции любого ленточного отрезного станка составляют:

- корпус;
- приводной механизм;
- пильный узел;
- механизмы загрузки и подачи обрабатываемых деталей;
- блок ЧПУ.

Для защиты пил от перегрева в процессе работы применяется СОЖ (смазочно-охлаждающая жидкость). Это может быть вода или жидкий состав, непрерывно подаваемый на лезвие полотна и омывающий его.

СОЖ не только защищает пилу от разрушения и быстрого износа, но и способствует снижению запыленности помещения металлическими частицами.

Используемые ленточные пилы по металлу делятся на:

- углеродистые – для резки нелегированных и легированных сталей;
- биметаллические – для тяжёлых режимов резки;
- твёрдосплавные – для распила труднообрабатываемых металлов (сплавов с большим содержанием титана и никеля, чугунов и литей);
- алмазные – для резания абразивных материалов.

Конструктивное исполнение ленточных отрезных станков, их отдельных элементов и узлов, особенности конструкции и геометрические параметры пил, процесса резания и рекомендуемые режимы обработки различных материалов приведены в источнике [12].

Ленточные отрезные станки, оснащенные блоком ЧПУ, обладают многочисленными эксплуатационными преимуществами, которые выгодно отличают их от ручных и полуавтоматических аналогов. С их помощью можно выполнять разнообразные технологические операции: фиксировать детали в тисках, опускать, поднимать, изменять угол наклона пильной рамы, поворачивать рабочий стол, регулировать усилие при выполнении пропила, контролировать скорость подачи рамы. При необходимости станком с ЧПУ можно управлять вручную.

Основные преимущества перед ручными агрегатами:

- возможность непрерывной эксплуатации в 3 смены;

- выполнение циклических задач без участия оператора;
- высокоточная резка;
- подача заготовки в автоматическом режиме за счёт специальной системы, встроенной в зажимные тиски;
- лучшее качество реза;
- минимальный расход металла благодаря оптимальной ширине реза;
- возможность выполнения реза под наклоном, при этом поворот пильной рамы задается ЧПУ;
- универсальность (резка цветных и чёрных металлов и сплавов, пластмасс и т. д.);
- нарезка заготовок пакетами;
- наличие двойных тисков.

Ленточнопильные станки с ЧПУ имеют высокую производительность, обеспечивают максимальную эффективность при оптимальных энергозатратах. Из-за повышенной жёсткости пильных рам вибрация во время резки минимальна.

При резке листовых материалов, когда к качеству реза предъявляют повышенные требования, широко используют возможности лазерных станков с программным управлением.

В настоящее время лазерные станки с ЧПУ широко используются во многих областях промышленности для решения множества различных технологических задач. Высокая популярность лазерных станков обусловлена следующими факторами: высокая точность и скорость обработки, простое управление и обслуживание станка, управляющая программа с интуитивно понятным интерфейсом и возможностью загрузки готовых рабочих чертежей и, самое важное, снижение затрат на производство.

Лазерное оборудование различается между собой в первую очередь типом излучателя. На данный момент наиболее распространены два типа лазеров: газовые (CO<sub>2</sub>) и твердотельные (волоконные, дисковые и YAG-лазеры на кристалле алюмоиттриевого граната). Несмотря на то, что газовые лазеры производятся и применяются уже относительно давно, а волоконные и дисковые только набирают популярность, каждый лазерный источник имеет свои преимущества и недостатки, и делать выбор стоит, исходя из конкретных и индивидуальных целей и задач [13].

Принципиальное различие между газовыми и твердотельными лазерами состоит в их рабочей длине волны, а это, в свою очередь, определяет тип обрабатываемого материала. Газовый CO<sub>2</sub>-лазер имеет длину волны 10,6 мкм и предназначен для обработки дерева, пластика, резины, акрила, кожи, бумаги и некоторых других материалов, но не применяется в металлообработке в силу того, что металл «прозрачен» для такой большой длины волны. Твердотельные лазеры генерируют излучение с длиной волны 1,06 мкм, которое подходит для целей металлообрабатывающей промышленности (таких как резка, сварка, гравировка, раскрой металлических труб и профиля и др.), но неприменимо в обработке других, неметаллических материалов.

В твердотельных YAG-лазерах активная среда представляет собой стержень алюмоиттриевого граната, а накачка осуществляется газоразрядными лампами либо лазерными диодами. За счёт высокой пиковой мощности и большого размера пятна YAG-лазер подходит для микросварки, а параметры излучения (мощность, длительность импульса) с высокой точностью регулируются изменением напряжения на лампе/диоде накачки. Однако под воздействием ламп/диодов накачки и вследствие постоянного нагрева кристаллический стержень со временем деформируется, что приводит к значительному ухудшению качества луча, вплоть до выхода из строя всей установки. Кристалл имеет непродолжительный срок службы, а дорогостоящие диоды накачки также требуют периодической замены.

Для изучения схемы и принципа работы представленного выше лазера рекомендуется использовать источник [13].

Одним из решений проблемы перегрева активной среды в твердотельных лазерах стало принципиальное изменение конструкции. Высокая эффективность охлаждения достигается за счёт использования вместо стержня диска с большой площадью поверхности. Схема дискового лазера приведена на рисунке 2.22.

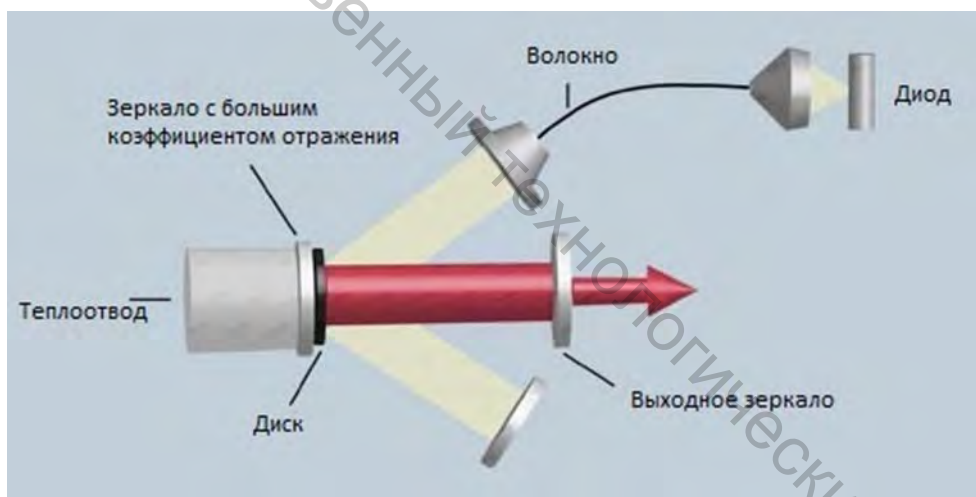


Рисунок 2.22 – Схема дискового лазера

Тонкий лазерный диск соединен с теплоотводящей системой кондуктивного типа. Особенности конструкции дискового лазера позволяют генерировать высокоинтенсивное излучение очень большой мощности при практически полном отсутствии паразитных оптических эффектов. Однако для подавляющего большинства стандартных технологических операций не требуется настолько большая мощность излучения, которую способен генерировать дорогостоящий дисковый лазер.

В волоконных лазерах в качестве активной (усиливающей) среды выступает оптоволокно, легированное ионами редкоземельных элементов (эрбий, неодим или иттербий), а накачка осуществляется с помощью лазерных диодов. Излучение полностью формируется внутри активного оптического

волокна, что исключает потребность в юстировке резонатора (рис. 2.23). Малый размер пятна, характерный для волоконных лазеров, обеспечивает хорошее качество реза при раскрое металла. Высокоэффективный процесс генерации позволяет использовать воздушное охлаждение, упростить эксплуатацию установки и уменьшить ее габаритные размеры. Обычно конструкция волоконных лазеров представляет собой отдельный модуль с выводом оптоволоконного кабеля, что значительно упрощает интеграцию лазерного источника в станок с ЧПУ.

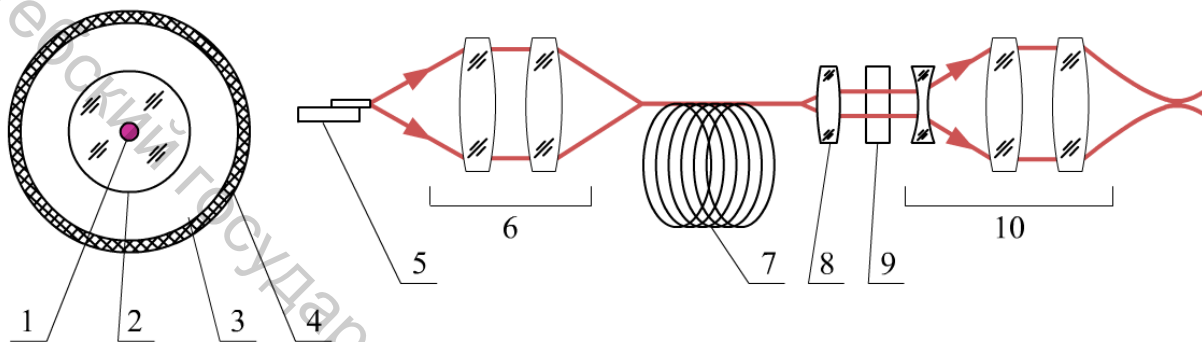


Рисунок 2.23 – Схема волоконного лазера:

- 1 – легированная сердцевина волокна; 2 – кварцевое волокно (Ø 400–600 мкм); 3 – полимерная оболочка; 4 – внешнее защитное покрытие;  
 5 – диоды накачки; 6 – оптическая система накачки; 7 – оптоволоконно;  
 8 – коллиматор; 9 – модулятор; 10 – фокусирующая система

В настоящее время лидером среди компаний, выпускающих волоконные лазерные источники, является американская фирма IPG Photonics. У корпорации есть представительства во многих странах. Лазерные источники производства IPG Photonics известны своей надёжностью и эффективностью и среди их основных достоинств можно выделить длительный эксплуатационный период, высокую стабильность излучения, собственный метод легирования оптоволоконна, отличное качество луча, а также компактность лазерного модуля и расширенный функционал. Недостатком является высокая стоимость лазерного источника.

Второй, негласный лидер среди поставщиков волоконных лазеров, китайская компания Raucus, которая производит недорогое и доступное оборудование для применения в широком спектре областей промышленности. Лазерные излучатели Raucus полностью идентичны излучателям производства IPG Photonics, но их стоимость значительно ниже.

При выборе лазерного источника для обработки металла следует использовать волоконный лазер, который обеспечит устранение проблемы перегрева активной среды; обладает достаточной мощностью излучения, необходимой для выполнения большинства технологических задач; имеет герметично закрытый модуль резонатора, не нуждающийся в техническом

обслуживании и расходных материалах, продолжительный срок службы и приемлемое соотношение цена-качество.

Лазерные станки с ЧПУ с волоконными источниками излучения различаются между собой: по назначению (резка, сварка, гравировка, раскрой труб), по габаритным размерам установки и размерам рабочего поля, по мощности лазерного излучения, по типу обрабатываемых заготовок (листовой металл/металлические трубы) и другим параметрам.

В лазерной резке помимо самого лазерного луча всегда участвует струя газа. Он необходим для того, чтобы выдувать расплавленный или испаренный материал из зоны реза, а также охлаждать образовавшиеся кромки, чтобы не перегревать остальную часть материала.

Используют атмосферный воздух, подаваемый от компрессора под луч. Однако из-за присутствия кислорода происходит окисление кромок деталей и образуются соединения, портящие свойства материала.

При резке часто следует использовать не только воздух или кислород, но и специальные газы – в этом случае лазерная резка будет приобретать дополнительные качества.

При работе с некоторыми материалами используются инертные газы. В зону резки подаётся струя сжатого газа, который не вступает в реакцию с материалом – но при этом так же выдувает из зоны реза расплав и охлаждает края разреза.

Принцип работы лазерной резки состоит в следующем.

Кольцевой лазерный пучок входит в резак через плоское окно, являющееся прозрачным для данной волны излучения. Отражаясь от зеркал и проходя через сопло, пучок фокусируется на обрабатываемой заготовке. Вспомогательный газ под давлением подается внутрь через отверстия, охлаждая при этом зеркальные поверхности. Резак может иметь оптическую систему, следящую за взаимным положением объектива и заготовки.

Перемещаясь по программе относительно исходной заготовки лазерный луч вырезает запрограммированный контур.

В результате воздействия светового луча материал заготовки проходит несколько промежуточных изменений для превращения в обработанную деталь: первая стадия – воздействие лазера на металл в точке начала реза вызывает нагревание вещества до температуры плавления и появлению усадочной раковины; вторая стадия – энергия излучения приводит к кипению и испарению металла; третья стадия – при проплавлении заготовки на полную глубину начинается поступательное движение рабочего органа в соответствии с заданной траекторией. В действительности, процесс испарения металла наблюдается только у тонких заготовок, при средней и большой толщине реза удаление остатков вещества из рабочей зоны производится с помощью струи вспомогательного газа (азот, кислород, воздушная смесь или инертные газы) [14].

Новое поколение прецизионных обрабатывающих станков с ЧПУ позволяют проводить обработку материалов с точностью до 0,005 мм. Площадь

обработки некоторых моделей лазерных установок достигает нескольких квадратных метров. Большим достоинством является минимизация человеческого фактора, заключающаяся в высокой степени автоматизации производственного процесса.

Геометрия детали задаётся в программный блок, осуществляющий управление лазером и рабочим столом с заготовкой. Системы настройки фокуса автоматически выбирают оптимальное расстояние для эффективного резания. Специальные теплообменники регулируют температуру лазерной установки, выдавая оператору контрольные данные текущего состояния инструмента. Лазерный станок оснащается клапанными механизмами для подключения газобаллонного оборудования, чтобы обеспечить подачу вспомогательных газов в рабочую зону. Система дымоулавливания оптимизирует расходы на вытяжную вентиляцию, включая её непосредственно в момент обработки. Область обработки полностью экранируется защитным кожухом для безопасности обслуживающего персонала.

Конструкция агрегата для лазерной резки состоит из нескольких основных деталей [15]:

- координатного стола, который напрямую влияет на конечное качество изделия. Несущую функцию выполняет станина или корпус станка. За передвижение подвижных элементов отвечают направляющие. Приводом могут служить зубчатые ремни или шариковые винтовые пары. Лазерный станок для резки металла и других материалов имеет один управляющий элемент – контроллер;

- летающей оптики, которая состоит из системы зеркал, каждое из которых покрыто составом, уменьшающим рассеивание энергии луча, а также линзы, которая фокусирует энергию луча в пятно диаметром 0,2 мм;

- лазерной лампы, в качестве излучающего элемента которой используют стеклянные отпаянные лампы. Излучение, отраженное от зеркал оптики и сфокусированное линзой, выполняет работу;

- вспомогательных устройств – системы охлаждения и воздушного компрессора.

Схема установки для лазерной резки приведена на рисунке 2.24.

Работа установки лазерной резки выполняется в следующей последовательности. Вначале создаются чертежи вырезаемых деталей, которые загружаются в программное обеспечение агрегата. Программное обеспечение обеспечивает создание линий реза, а также линий подхода к вырезаемому контуру и выхода из зоны резания. В результате формируются коды управляющей программы, которые обеспечивают перемещение режущего инструмента вдоль вырезаемых контуров заготовок. После включения луч лазера автоматически перемещается по запрограммированным траекториям.

Поскольку в лазерной головке (трубке) выделяется тепло, её требуется охлаждать. Охлаждение лазерной трубки осуществляют системой типа вода/воздух (холодильник).

Во время резания металла при помощи лазера обеспечивают продув зоны резания технологическим газом, поддерживая постоянное давление в зоне резания. Пневматическая система, установленная на раскройных комплексах, обычно рассчитана на давление 0,10–0,25 МПа. Такое давление позволяет производить раскрой чёрных и цветных металлов и получать качественный рез. Системы подачи газа, рассчитанные на давление до 0,10 МПа, существенно ограничивают возможности по применению лазерных установок.

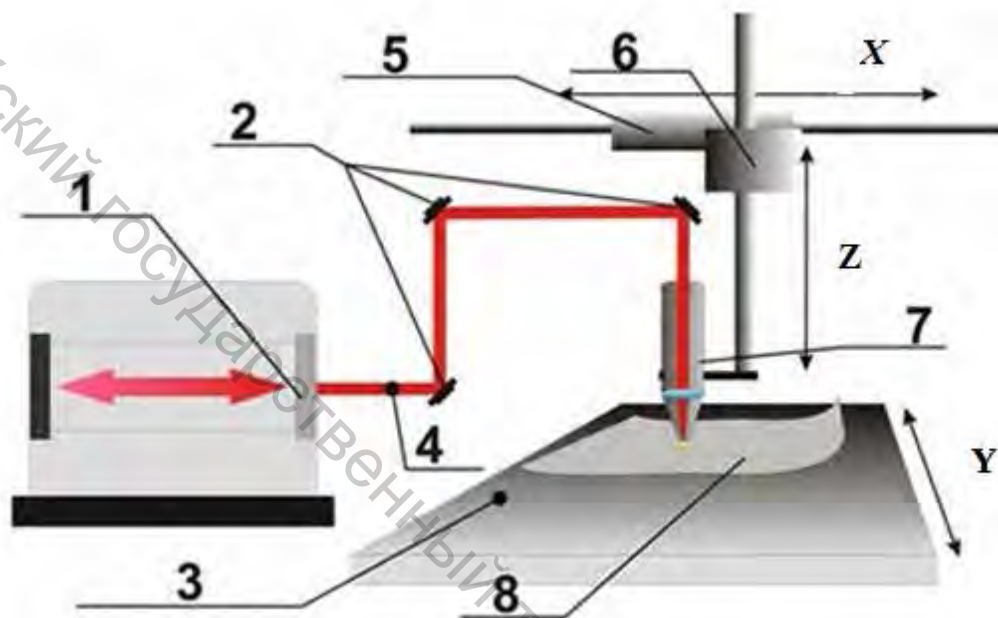


Рисунок 2.24 – Схема установки для лазерной резки:

1 – оптический генератор (лазер); 2 – система зеркал; 3 – подвижный рабочий стол; 4 – луч лазера; 5 – система перемещения режущей головки по оси X; 6 – система перемещения режущей головки по оси Z; 7 – лазерная головка; 8 – лист материала для раскроя; Y – направление перемещения лазерной головки

Опционально на станках для лазерной резки могут устанавливать автоматические газовые консоли, которые имеют интегрированный в ЧПУ комплекса интерфейс, позволяет дистанционно переключать входы газов и устанавливать давление газа в зоне резания, проводить мониторинг текущего состояния системы. Такая консоль автоматически переключает режущий газ и устанавливает его давление при выборе материала из библиотеки без вмешательства оператора.

Оборудование для лазерной резки достаточно широко представлено на рынке республики установками из России и из-за рубежа. В России станки для лазерной резки производят ЗАО «ТехноЛазер», ЗАО «Лазерные комплексы», НПЦ «Лазеры и аппаратура ТМ», ООО «ОКБ «Булат», ООО «НПЦ «Альфа», «Центр лазерных технологий», предприятия Лазерного регионального Северо-Западного центра (ЛРСЗЦ, г. Санкт-Петербург ООО «СП «Лазертех», ООО

«НПП «Мобильные Лазерные Системы», ООО «Лазерный центр», АОЗТ «ЛазерИнформСервис»), а также другие компании, среди зарубежных производителей установок лазерной резки: компании Trumpf (Германия), Bystronic (Швейцария), ESAB (Швеция), Mazak (Япония), Koike (Япония), Hankwang (Южная Корея), Multicam (США) и др. Известным производителем углекислотных лазеров является компания PRC (США).

При изучении конструктивного исполнения установок лазерной резки, их отдельных узлов, технических характеристик, основных технических данных, программного обеспечения и т. д. рекомендуется использовать источник [16].

Для раскроя не только металлических, но и композиционных, неметаллических и других материалов широко используют возможности гидравлической и гидроабразивной резки.

Гидроабразивная резка – вид обработки материалов резанием, где в качестве режущего инструмента используется струя воды или смеси воды и абразивного материала, выпускаемая с высокой скоростью и под высоким давлением [17].

Принцип работы заключается в следующем.

Вода, сжатая одним из основных компонентов системы – насосом высокого давления, до 4000 бар или более, проходит через сопло, образующее струю диаметром 0,2–0,35 мм, попадающую в смесительную камеру. В смесительной камере происходит смешивание воды с абразивом (например, гранитным песком) и далее она проходит через второе, твердосплавное или алмазное сопло с внутренним диаметром 0,6–1,2 мм. Из этого сопла струя воды с абразивом выходит со скоростью около 1000 м/сек и попадает на поверхность разрезаемого материала.

История появления началась в СССР в 1947 году, когда было получено авторское свидетельство на новый способ резки твёрдых материалов – струёй воды. Идея заключалась в том, чтобы создать такую силу воздействия воды на материал, чтобы она превосходила силу соединения между молекулами самого материала. Для этого требовалось давление в несколько тысяч атмосфер. Однако работы по этому направлению в СССР достаточно быстро прекратились.

Затем в США в 1979 году сотрудник американской корпорации Flow Мохамед Гашиш придумал добавлять в водный поток абразивный материал, что позволило резать практически любой материал.

В 1980 году гидроабразивная струя использовалась впервые для резки стали, стекла и бетона. В 1983 году была продана первая гидроабразивная система для резки автомобильного стекла.

Схема режущей головки установки для гидроабразивной резки показана на рисунке 2.25.

Вначале технологию гидроабразивной резки широко применили в авиационной и космической промышленности для резки нержавеющей стали, титана, углеродного волокна.

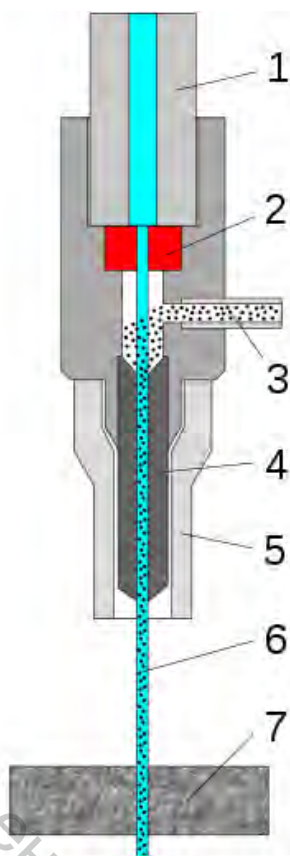


Рисунок 2.25 – Схема головки установки для гидроабразивных резки материалов:

- 1 – подвод воды под высоким давлением; 2 – сопло; 3 – подача абразива;  
 4 – смесительная трубка; 5 – кожух; 6 – режущая струя;  
 7 – разрезаемый материал

При помощи гидроабразивной струи можно резать практически любые материалы:

- черные металлы и сплавы (толщиной до 200 мм);
- труднообрабатываемые легированные стали и сплавы (в том числе, жаропрочные и нержавеющей);
- цветные металлы и сплавы (медь, никель, алюминий, магний, титан и их сплавы);
- композиционные материалы;
- керамические материалы (плитка и др.);
- природные и искусственные камни (гранит, мрамор и т. д. толщиной до 300 мм);
- стекло и композиционное стекло (триплекс, бронестекло, армированное стекло, стеклотекстолит и т. п.);
- пористые и прозрачные материалы;
- сотовые и сэндвич-конструкции;
- бетон и железобетон.

В конструкцию станка для гидроабразивной резки входят:

– рабочая ванна с несущими опорами из нержавеющей стали. Для поддержки обрабатываемого материала на несущие опоры устанавливаются быстросменные рёбра, что обеспечивает максимальную защиту несущих опор от воздействия гидроабразивной струи.

Для защиты рабочей зоны от шума и образующейся пыли, ванна станка оснащается системой быстрого подъёма/опускания воды, что позволяет выполнять обработку детали, полностью погружённой в воду. Вся пыль, образующаяся при обработке, остаётся в воде, а уровень шума при обработке снижается до 65 ДБ;

– система перемещения подвижных элементов (портала, режущей головки). Станок имеет консольную конструкцию приводов с ременными передачами для перемещения подвижных элементов конструкции.

Ременной привод прост в эксплуатации, легко заменяется при износе и наиболее приспособлен для работы на станках гидроабразивной резки, так как не боится попадания абразивного материала. Для повышения точности позиционирования и отсчёта перемещений по осям на станок устанавливаются линейные индуктивные датчики, которые позволяют добиться точности позиционирования  $\pm 0,025$  мм.

Перемещение подвижных элементов по осям выполняется по линейным направляющим. Конструктивное исполнение линейных направляющих аналогично приведенным выше и рассмотренным в металлообрабатывающих станках, установках плазменной, лазерной резки и др. За счёт использования линейных направляющих обеспечивается высокая плавность хода и скорость перемещения;

– насос высокого давления, являющийся наиболее важным узлом любой установки гидроабразивной резки;

– система ЧПУ, обеспечивающая управление сервоприводами перемещения режущей головки по заданным координатным направлениям (X, Y и Z), а также обладающая возможностью программирования вырезаемых контуров;

– бак для абразива, конструкция которого выполнена так, что имеется возможность пополнения запасов абразива для экономии времени при работе установки. Бак оборудован датчиками контроля уровня абразивного материала;

– система поддержания постоянного зазора между фокусирующей трубкой и материалом. Данная система представляет собой специальный контактный механизм, который при перемещении по листу позволяет поддерживать оптимальный зазор, что способствует точности и качеству реза, а также позволяет исключить опасность столкновения фокусирующей трубки с материалом;

– угловая головка, которая позволяет выполнять поворот режущей головки в двух плоскостях с максимальным углом наклона до 60 градусов, что позволяет выполнять обработку фасок, криволинейных поверхностей, компенсировать конусность при обработке. Угловая голова сконструирована таким образом, что при компенсации конусности или выполнении фаски по

контуру, перемещение выполняется только по одной поворотной оси, что обеспечивает высокую точность обработки и постоянство угла резания. При выполнении обработки сложных поверхностей, станок имеет возможность работы сразу по пяти управляемым координатам;

- датчик сканирования материала. При обработке на станках возникает проблема, связанная с неплоскостностью обрабатываемого материала. Для решения данной задачи на станок может быть установлена лазерная или ультразвуковая система сканирования материала. Такая система выполняет сканирование материала до обработки с заданным интервалом, что позволяет поддерживать требуемый зазор во время обработки материала и обеспечивает максимальную точность и качество обработки. При работе с маленькими деталями возможно сканирование только точек резания;

- датчик контроля абразива, который выполняет проверку количества подаваемого абразивного материала во время обработки, что позволяет выполнять резание без постоянного присутствия оператора. Диапазон допустимых значений задаётся непосредственно со стойки оператора и может быть изменён в процессе обработки;

- устройство удаления абразива, состоящее из бака-отстойника и насоса. Отличительной особенностью данной системы является использование мембранного насоса, который приспособлен для работы в агрессивных средах и прост в обслуживании. Для удобства работы бак для отработанного абразива имеет быстросъёмные разъёмы для подсоединения шлангов и приспособлен для транспортировки кран-балкой или погрузчиком;

- устройства загрузки металла, например, кран-балки с тельферами, оснащённые вакуумными или механическими захватами; пневматические и гидравлические подъёмники с регулируемыми рычагами, поддерживающими материал в наиболее важных участках.

При выборе оборудования для резки листового материала из предлагаемого на рынке следует учитывать достоинства установок для гидроабразивной резки:

- отсутствие термического воздействия на материал (температура в зоне реза 60–90 °С);

- отсутствие выгорания легирующих элементов в легированных сталях и сплавах;

- отсутствие оплавления и пригорания материала на кромках обработанных деталей и в прилегающей зоне;

- полная пожаро- и взрывобезопасность процесса;

- существенно меньшие потери материала;

- широкий спектр разрезаемых материалов и толщин (до 150–300 мм и более);

- высокая эффективность резки листовых материалов толщиной более 8 мм;

– возможность реза тонколистовых материалов в пакете из нескольких слоёв для повышения производительности, в том числе за счёт уменьшения холостых ходов режущей головки;

– экологическая чистота и полное отсутствие вредных газовых выделений;

– высокое качество реза (шероховатость кромки Ra 1,6 мкм).

При этом следует учитывать недостатки гидроабразивной технологии:

– недостаточно высокая скорость реза тонколистовой стали;

– ограниченный ресурс отдельных комплектующих и режущей головки;

– высокая стоимость абразива, являющегося расходным материалом;

– коррозия нелегированного металла.

При необходимости выбора оборудования для гидроабразивной резки следует учитывать уровень выпускаемого оборудования. Ведущим мировым разработчиком и производителем промышленного оборудования для гидроабразивной резки с использованием сверхвысокого давления воды является фирма Flow International Corporation (штаб-квартира в г. Кент, штат Вашингтон, США), созданная в начале 1970-х годов, когда сотрудники научного подразделения корпорации Boeing основали исследовательскую компанию Flow Research. В настоящее время более чем в 45 странах мира работает свыше 11000 станков гидроабразивной резки Flow, нашедших своё применение в авиационно-космической, автомобильной и металлообрабатывающей промышленности, обработке камня, стекла, пластмасс и композиционных материалов, а также в бумажной и пищевой промышленности. Это число составляет около 60 % всего мирового рынка гидроабразивного оборудования.

Среди наиболее успешно развивающихся компаний следует отметить фирму Nanjing Bitong Technology Co., Ltd., совместное китайско-американское предприятие по производству и обслуживанию установок гидроабразивной резки, которое является ведущим производителем установок гидроабразивной резки с насосами высокого давления. Гидроабразивные установки бренда VTECH компании Bitong сертифицированы по стандарту CE.

Из европейских фирм следует отметить группу компаний STM (Австрия) и Maximator JET (Германия), поставляющие комплексы гидроабразивной резки STANDARD и PREMIUM, а также компанию Tecnocut S.P.a. (Италия) и др.

### 3 ПРИНЦИПЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

#### 3.1 Основы числового программного управления

Для успешного освоения навыков программирования обработки на станке с ЧПУ вначале необходимо изучить его конструкцию и технические возможности, причем с двух различных точек зрения – программиста и оператора-станочника. Это поможет чётко осознать возможности выполнения операций на данном станке для наиболее эффективного его применения, разработать и выполнить последовательность обработки. Сущность обработки заключается в сочетании формообразующих перемещений инструмента и детали, обеспечивающих снятие стружки и получение поверхностей с заданной размерной точностью и качеством поверхностей.

На универсальном станке движение детали или инструмента осуществляется путем ручных или механических перемещений, выполняемых станочником (например, вращением рукояток). Точное позирование выполняется путем подсчета общего числа делений градуировки, нанесённой на рукоятки (рис. 3.1).

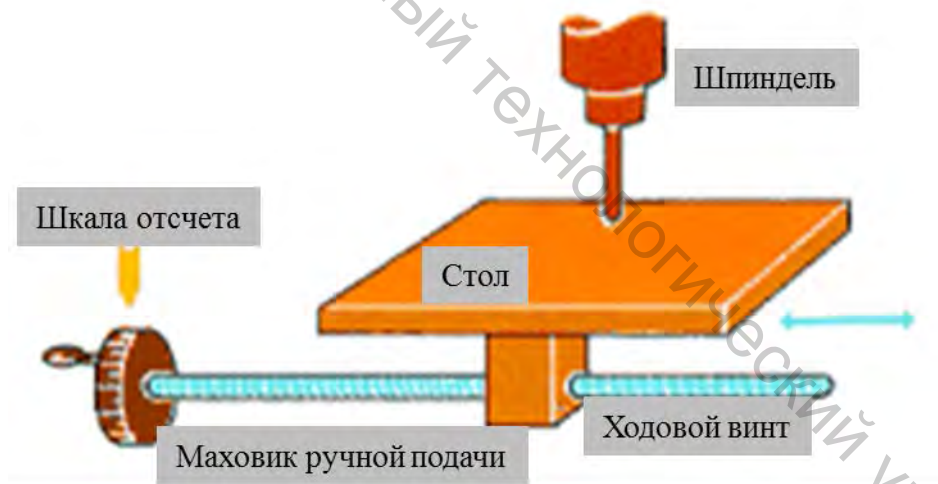


Рисунок 3.1 – Схема выполнения обработки на универсальном оборудовании

Основная функция любого оборудования с ЧПУ – автоматическое управление движением в процессе обработки. Станок с ЧПУ имеет два или более направления для движения, которые называют осями. Причем движение по этим осям осуществляется сервомоторами, приводимыми в действие системой ЧПУ, которая выполняет команды управляющей программы и обеспечивает контроль их исполнения. При этом система ЧПУ посылает точное количество импульсов исполнительному двигателю. Его вращение передается механизму привода оси, с которой связан исполнительный орган.

Исполнительный орган перемещается в заданном направлении. Устройство обратной связи (датчик линейного или углового перемещения), связанное с данной осью, позволяет системе ЧПУ подсчитать число импульсов, которое реально отработал исполнительный двигатель и сравнить с заданным количеством (рис. 3.2). Так осуществляется программируемое перемещение по одному направлению. Аналогичным образом можно задать движение исполнительным органам, обеспечивающим перемещение по другим осям.

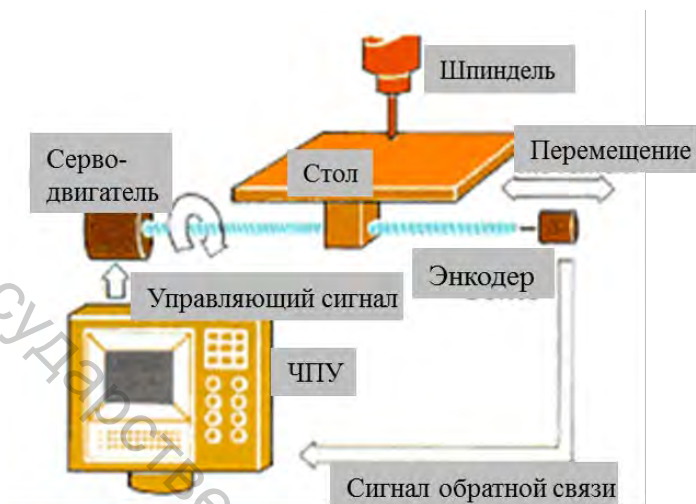


Рисунок 3.2 – Схема выполнения перемещений на станке с ЧПУ

Программист-технолог должен изучить направления движения инструмента, стола или другого исполнительного органа для каждого конкретного станка с ЧПУ. Кроме этого, нужно знать по каждой оси символ адреса, под которым будет выдаваться сообщение о движении по этой оси в управляющей программе. Все обозначения осей рассматривают в большинстве случаев применительно к прямоугольной декартовой системе координат X, Y, Z. Обозначения X, Y, Z используют при задании линейных перемещений вдоль этих осей. В случае наличия на станке элементов, которые могут перемещаться параллельно указанным координатным направлениям, такие оси обозначают символами U, V и W. При необходимости программирования поворота или непрерывного вращения относительно осей X, Y, Z эти движения (и поворотные оси) обозначают символами A, B и C (вращение вокруг осей X, Y, Z соответственно). Следует обязательно уточнить направления, которые при перемещениях будут считаться положительными и отрицательными, т. е. каким знаком (плюс или минус) определяется значение направления движения.

### 3.2 Способы программирования оборудования с ЧПУ. Координатные системы

Этап программирования обработки является важнейшим в процессе эффективного использования оборудования с ЧПУ.

Для создания управляющей программы используют один из перечисленных ниже методов:

- ручное программирование. Программная часть УП создаётся технологом, который путём ввода вручную программных функций и числовых данных задает координаты перемещения рабочего органа. Это трудоёмкий и кропотливый процесс, поэтому его применение оправдано только, если на производстве всего несколько автоматизированных станков, ориентированных на изготовление простых деталей;

- программирование с пульта оперативной системы числового программного управления, которой оснащён станок. Управляющая программа создаётся с использованием сенсорного экрана и джойстика, расположенных на стойке станка. Модели последнего поколения при вводе управляющей программы реализуют диалоговый режим. Оператор ЧПУ может протестировать программу или провести её редактирование;

- метод программирования с помощью САМ-систем. Используется при написании программ для изготовления сложных деталей, с большим количеством выполняемых операций и переходов в них. Вначале с помощью САПР (AutoCAD, SolidWorks, CATIA, КОМПАС, NX и др.) инженеры-конструкторы создают электронную геометрическую модель детали. Копия этой модели загружается в САМ-систему. Задача программиста-технолога заключается в составлении технологической последовательности обработки (называемой маршрутом обработки), подборе режущих инструментов для выполнения этой последовательности, расчёте режимов резания, выборе приспособлений для установки заготовок и программировании траектории движения рабочего органа путём выбора из предлагаемых системой вариантов обработки.

Перемещения задаются так называемыми G-кодами, технологические указания элементам оборудования программируются M-функциями.

Для того чтобы составить и выполнить управляющую программу, необходимо определить положение каждого элемента, обеспечивающего обработку заготовки, в координатной системе станка. Для этого используют координатные системы, связанные с каждым элементом (столом станка, его шпинделем, режущим инструментом, заготовкой, приспособлением для установки и закрепления заготовки и т. д.), которые затем в рабочем пространстве станка привязывают друг к другу. Благодаря этому достигается возможность задания точного перемещения каждого подвижного элемента оборудования в их относительном движении, что и обеспечивает формообразование, например, при резании. Некоторые из координатных систем машинно-зависимы, другие же определяются свободно в рабочем пространстве станка. Переход от одной координатной системы к другой называется координатным переходом.

Фактически, при работе на станке с ЧПУ приходится иметь дело со следующими системами координат:

– координатной системой станка (машины) – Machine Coordinate System (MCS).

Система координат станка является главной расчётной системой, в которой определяются предельные перемещения исполнительных органов станка, а также их исходные и текущие положения. У различных станков с ЧПУ в зависимости от их типа и модели координатные системы располагаются по-разному. Начало отсчёта этой системы координат находится в определённой производителем станка точке и не подлежит изменению пользователем. Точка, представляющая собой начало отсчёта координатной системы станка, называется нулём станка или нулевой точкой станка. Нулевую точку  $M$  называют машинной и обозначают соответствующим условным символом [18].

Кроме нулевой точки станка при отсчёте перемещений в приращениях (в относительной системе координат) устанавливают исходную точку станка  $R$  (называемую референтной), которую используют для контроля за перемещениями исполнительных органов станка. Координаты точки  $R$  имеют постоянное значение относительно точки  $M$ , при этом положение точки  $R$  по каждой оси координат фиксируется датчиком и учитывается управляющей программой. С помощью точки  $R$  устанавливается связь между нулевой точкой станка  $M$  и точкой автоматического выхода в нуль следящих приводов подач после каждого включения и выключения питания на станке. После включения питания на станке для калибровки системы отсчёта относительных перемещений необходимо по каждой оси координат вывести исполнительные органы в референтную точку  $R$ ;

– координатной системой детали – WCS (Workpiece Coordinate System).

Система координат детали является главной системой для программирования обработки и назначается чертежом или операционным эскизом технологической документации. Она имеет свои оси координат и своё начало отсчёта, относительно которого определены все размеры детали и задаются координаты всех опорных точек контуров детали. Опорными точками в этом случае считаются точки начала, конца и пересечения или касания геометрических элементов детали, которые образуют контур её геометрических элементов и влияют на траекторию движения инструмента в технологических переходах. Точка начала отсчёта координатной системы детали называется нулём детали или нулевой точкой детали. Нулевую точку детали назначают свободно в зоне машинной координатной системы. Нулевую точку координатной системы детали называют  $W$  и обозначают соответствующим символом.

Можно определить несколько аддитивно (параллельно) связанных между собой координатных систем детали, которые отображают характер её установки на станке при обработке.

Нулевая точка  $W$  является началом системы координат заготовки. Её расположение в системе координат станка назначается, исходя из особенностей процесса обработки данной заготовки. Из практических соображений обычно стремятся к совмещению точки  $W$  с началом отсчёта размеров на чертеже

(конструкторской базой). В этом случае при составлении управляющей программы можно использовать размерные данные непосредственно с чертежа, что характерно для программирования токарной обработки.

При токарной обработке точку  $W$ , как правило, назначают по оси вращения шпинделя по левому или правому торцу заготовки (в зависимости от относительного расположения обрабатывающего инструмента). Причем расположение точки  $W$  в процессе обработки одной заготовки может меняться, если, например, заготовка обрабатывается с двух сторон. На чертежах фрезерованных деталей за базу при простановке размеров обычно принимается один из углов её наружного контура. Этот же угол рекомендуется выбирать для назначения нулевой точки заготовки  $W$  при составлении управляющей программы для фрезерной обработки. Однако наиболее целесообразно использовать геометрический центр детали в качестве нулевой точки;

– координатной системой инструмента – TCS (Tool Coordinate System);

Система координат инструмента предназначена для задания положения его режущей части относительно державки в момент обработки. Началом отсчёта координатной системы инструмента является точка, от которой начинается запрограммированное перемещение рабочего инструмента. Эта точка называется нулём инструмента или нулём обработки. Как правило, координаты нуля обработки задаются в координатной системе детали, но при этом координаты нуля обработки могут не совпадать с нулём детали. Нулевую точку координатной системы инструмента обозначают буквой  $T$  и соответствующим символом. Нулевая точка инструмента является базовой точкой элемента станка, несущего державку с инструментом. Положение этой точки на станке устанавливается производителем станка и не подлежит изменению. При проведении наладки станка положение вершины режущей части закрепленного в державке инструмента должно быть точно измерено или выставлено относительно нулевой точки инструмента. Кроме этой существует точка смены инструмента, которая является координатной точкой в рабочем пространстве станка и в которой происходит смена одного инструмента на другой;

– координатной системой приспособления (или установочными элементами станка).

Точка «ноль» приспособления должна обеспечить геометрическую связь с точкой «ноль» станочной системы координат. Другая точка «ноль» рабочей системы координат – определяет положение заготовки на приспособлении и, как правило, соответствует точке пересечения технологических баз;

– координатная система управляющей программы – PCS (Program Coordinate System).

Нулевую точку координатной системы PCS обозначают буквой  $P$  и определённым графическим символом. Все запрограммированные координаты управляющей программы выполняются относительно нулевой точки  $P$ . Координатную систему PCS, как и WCS, можно свободно назначать и поворачивать в зоне машинной координатной системы MCS.

Нулевые и исходные точки основных систем координат, используемых при работе на станках с ЧПУ, как правило, имеют специальные обозначения, с помощью которых указывается их расположение на пульте станка. Эти обозначения обычно состоят из пиктограммы и прописной буквы латинского алфавита.

В отечественных государственных стандартах эти обозначения не определены.

Поскольку система координат станка является главной расчётной системой, в которой определяются и впоследствии выполняются перемещения и действия, необходимые для обработки, оси координат располагают параллельно направляющим, что обеспечивает простоту указания перемещений по соответствующим направлениям.

Стандартная система координат представляет собой правую прямоугольную декартову систему координат. Положительные направления осей координат определяются правилом правой руки (рис. 3.3): большой палец указывает положительное направление оси абсцисс  $X$ , указательный – оси ординат  $Y$ , средний – оси  $Z$ .

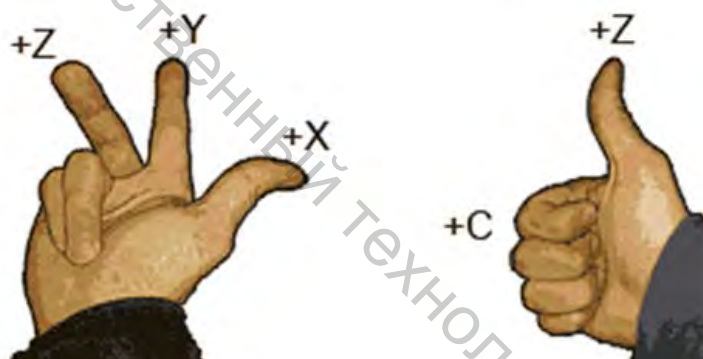


Рисунок 3.3 – Правило правой руки

Ось координат  $Z$  обычно принимают параллельной оси главного шпинделя станка, независимо от того, как он расположен – вертикально или горизонтально. Ось  $X$ , в основном, всегда горизонтальна.

Вращательные движения вокруг осей обозначают латинскими буквами  $A$  (вокруг оси  $X$ ),  $B$  (вокруг оси  $Y$ ) и  $C$  (вокруг оси  $Z$ ). Положительные направления вращений вокруг этих осей определяется следующим образом: если расположить большой палец правой руки вдоль оси в положительном направлении, то другие согнутые пальцы покажут положительное направление оси вращения вдоль соответствующей оси.

Дополнительные движения, параллельные осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , обозначают соответственно  $U$ ,  $V$ ,  $W$  (вторичные) и  $P$ ,  $Q$ ,  $R$  (третичные). Для вторичных угловых перемещений вокруг осей используются буквы  $D$  и  $E$ .

### 3.3 Управляющая программа обработки. G-коды и M-функции для программирования обработки

Управляющая программа обработки исходной заготовки имеет определённый вид. В соответствии с международными стандартами и ГОСТом 20999-83 структура управляющей программы подчиняется следующим правилам. В тексте управляющей программы должна содержаться геометрическая, технологическая и вспомогательная информация, необходимая для выполнения обработки. В каждом кадре программы записывается только та информация, которая изменяется по отношению к предыдущему кадру. При этом выполнение системой ЧПУ оставшейся неизменной информации прекращается только после поступления команды на её отмену. Каждая управляющая программа начинается символом «начало программы», подающим системе управления сигнал о начале её выполнения. Вид символа «начало программы» зависит от особенностей применяемой системы ЧПУ. При этом кадр с символом «начало программы» не нумеруется. Нумерация кадров начинается с последующего кадра.

Если управляющей программе необходимо присвоить обозначение, то его располагают в кадре с символом «начало программы» непосредственно за символом.

Если текст управляющей программы необходимо сопроводить комментарием, например, сведениями об особенностях наладки станка, то его размещают перед символом «начало программы».

Управляющая программа должна заканчиваться символом «конец программы», подающим системе управления сигнал на прекращение выполнения управляющей программы, останов шпинделя, приводов подач и выключение охлаждения. Информация, помещенная в тексте управляющей программы после этого символа не должна восприниматься системой ЧПУ.

Информация, расположенная в тексте управляющей программы между символами «начало программы» и «конец программы» и заключенная в круглые скобки, не воспринимается системой ЧПУ к исполнению. При этом в тексте внутри скобок не должны применяться символы «начало программы» (символ «%») и «главный кадр» (символ «:»), который используют не всегда).

Кадр управляющей программы содержит операторы в форме слов (G91, M30, X10. и т. д.). Слово состоит из символа (адреса) и цифры, представляющей арифметическое значение.

Адреса X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R, A, B, C, D, E являются размерными перемещениями, их используют для обозначения координатных осей, вдоль которых осуществляются перемещения. Адреса I, J, K означают параметры круговой интерполяции.

Слова, описывающие перемещения, могут иметь знак «+» или «-». При отсутствии знака перемещение считается положительным.

Все функции обозначают следующим образом.

G – подготовительная функция.

M – вспомогательная функция.

S – функция главного движения.

F – функция подачи.

T, D, H – функции инструмента (номер инструмента, его диаметр и высота).

Ниже приведен перечень широко употребляемых адресов слов и их значений.

O – номер программы.

N – номер кадра.

G – предварительная функция (G-функция или G-код).

X – функция прямолинейного перемещения по оси X.

Y – функция прямолинейного перемещения по оси Y.

Z – функция прямолинейного перемещения по оси Z.

R – обозначение радиуса инструмента.

F – подача.

S – частота вращения шпинделя.

H – длина инструмента или корректор на длину инструмента.

D – диаметр инструмента или корректор на диаметр инструмента.

T – номер инструмента.

M – вспомогательная (машинная или станочная) функция.

Язык G- и M-кодов основывается на положениях Международной организации по стандартизации (ISO) и Ассоциации электронной промышленности (EIA). Официально этот язык считается стандартом для американских и европейских производителей оборудования с ЧПУ, и иногда его называют «ИСО 7 бит».

Существуют следующие подготовительные функции (G-коды):

G00; G01; G02; G03; G04; G17; G18; G19; G20; G21; G40; G41; G42; G43; G52; G54 – G59; G68; G69; G73; G74; G80; G81; G82; G83; G84; G85; G86; G87; G90; G91; G94; G95; G98; G99 [19].

Знание этих функций обеспечивает чтение распечатки управляющих программ или их листинга на экране монитора компьютера в САМ-системе, а также написание программ при ручном способе их создания.

В случае автоматизированного программирования обработки управляющая программа формируется автоматически после выполнения технологом-программистом некоторых действий, которые осуществляются в интерактивном режиме работы с программным обеспечением САМ-системы.

Ниже приведены значения некоторых G-функций и действия, которые будут выполнять исполнительные механизмы станка для исполнения каждой функции:

G00 – быстрое перемещение в точку с заданными координатами, которое выполняется на максимально возможной скорости.

Функция G00 используется для выполнения ускоренного перемещения режущего инструмента к позиции обработки, к безопасной позиции или к

позиции смены инструмента. Ускоренное перемещение никогда не используется для выполнения обработки, так как скорость движения исполнительного органа станка очень высока (5000–48000 мм/мин). Его применяют при подводе-отводе инструмента к зоне обработки, при холостых переездах и т. д. Код G00 отменяется кодами G01, G02, G03.

G01 – линейное перемещение (интерполяция) на заданной скорости движения. Код обеспечивает перемещение инструмента по прямой линии с заданной скоростью. Скорость перемещения указывается адресом F (подача). Код G01 отменяется с помощью кодов G00, G02, G03.

G02 – круговая интерполяция (дуга в направлении движения часовой стрелки). Код G02 предназначен для выполнения круговой интерполяции, то есть для перемещения инструмента по дуге (окружности) в направлении часовой стрелки с заданной скоростью. Скорость перемещения указывается адресом F. Код G02 отменяется с помощью кодов G00, G01 и G03.

G03 – круговая интерполяция – дуга в направлении против часовой стрелки.

G20 – ввод дюймовых размерных данных. Код G20 активирует режим работы с дюймовыми данными. Пока действует этот режим, все вводимые данные воспринимаются в дюймовой системе счисления. Рекомендуется во всех программах, которые написаны в дюймовых размерах, поставить команду G20 в начало программы (в строку безопасности), чтобы в случае, если в программе, выполняемой до этого, действовал метрический режим, обеспечить выбор корректного формата. Команда является модальной и действует до тех пор, пока её не отменят командой G21.

Пример кадра программы:

N10 G20 G40 G49 G54 G80 G90 – код G20 в строке безопасности.

Строкой безопасности называется кадр, содержащий G-коды, которые переводят СЧПУ в определенный стандартный режим, отменяют ненужные функции и обеспечивают безопасную работу с управляющей программой.

G21 – ввод метрических данных. Код G21 активирует режим работы с метрическими данными. Пока действует этот режим, все вводимые данные воспринимаются как метрические. Рекомендуется во всех программах, которые написаны в метрических размерах, поставить команду G21 в начало программы (в строку безопасности), чтобы в случае, если в программе, выполняемой до этого, действовал дюймовый режим, обеспечить выбор корректного формата.

Пример:

N10 G21 G40 G49 G54 G80 G90 – код G21 в строке безопасности.

Команда является модальной и действует до тех пор, пока её не отменят командой G20.

G03 – круговая интерполяция (дуга против часовой стрелки). Код G03 предназначен для выполнения круговой интерполяции, то есть для перемещения инструмента по дуге (окружности) против часовой стрелки с заданной скоростью. Скорость перемещения указывается адресом F. Код G03 отменяется с помощью кодов G00, G01 и G02.

G04 – выдержка. Код G04 – команда на выполнение выдержки (паузы) с заданным временем. Этот немодальный код программируется вместе с X- или P-адресом, который указывает длительность времени выдержки. Обычно это время составляет от 0.001 до 99999.999 секунды. Код G04, X- или P-адрес программируются вместе в одном кадре, который не содержит никаких перемещений.

Если для определения времени выдержки используется P, то нельзя программировать десятичную точку. Адрес P определяет время выдержки в миллисекундах, а X – в секундах. Если команда G04 программируется без временного фактора, то она воспринимается системой ЧПУ как немодальная команда для точного останова.

G17 – выбор плоскости обработки XY. Подготовительная функция G17 предназначена для выбора плоскости XY в качестве рабочей. Плоскость XY становится определяющей при использовании круговой интерполяции, вращения системы координат и постоянных циклов сверления.

G18 – выбор плоскости обработки XZ. Подготовительная функция G18 предназначена для выбора плоскости XZ в качестве рабочей. Плоскость XZ становится определяющей при использовании круговой интерполяции, вращении системы координат и постоянных циклов сверления.

G19 – выбор плоскости обработки YZ. Подготовительная функция G19 предназначена для выбора плоскости YZ в качестве рабочей. Плоскость YZ становится определяющей при использовании круговой интерполяции, вращения системы координат и постоянных циклов сверления (рис. 3.4).

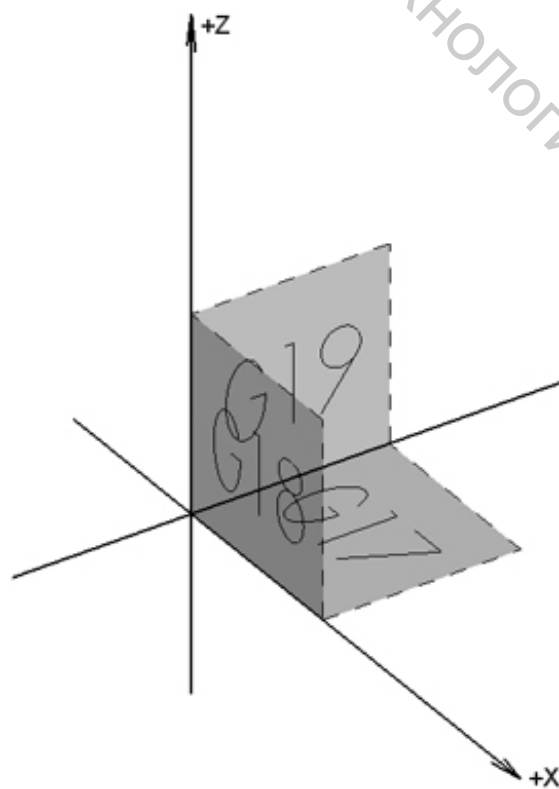


Рисунок 3.4 – Активные плоскости обработки в системе координат станка

G40 – отмена автоматической коррекции радиуса инструмента. Автоматическая коррекция радиуса инструмента отменяется программированием команд G40 и D00. Обычно код G40 находится в кадре с командой прямолинейного холостого перемещения от контура детали.

G41 – коррекция на радиус, инструмент слева от детали. Код G41 применяется для включения автоматической коррекции радиуса инструмента, находящегося слева от детали. Направление смещения определяется, если смотреть на траекторию сверху вниз, то есть со стороны +Z в направлении -Z.

G42 – коррекция на радиус, инструмент справа от детали. Код G42 применяется для включения автоматической коррекции радиуса инструмента, находящегося справа от детали. Направление смещения определяется, если смотреть на траекторию сверху вниз, то есть со стороны +Z в направлении -Z.

G90 – режим абсолютного позиционирования. В режиме абсолютного позиционирования G90 перемещения исполнительных органов производятся относительно нулевой точки станка или относительно нулевой точки рабочей системы координат G54 – G59. Код G90 является модальным и отменяется при помощи кода относительного позиционирования G91.

G91 – режим относительного позиционирования. При помощи кода G91 активируется режим относительного (инкрементального) позиционирования. При относительном способе отсчёта за нулевое положение каждый раз принимается положение исполнительного органа, которое он занимал перед началом перемещения к следующей опорной точке. Код G91 является модальным и отменяется при помощи кода абсолютного позиционирования G90.

Коды с адресом M называют вспомогательными и предназначены для управления режимами работы механизмов станка.

M00 – программируемый останов.

Когда СЧПУ исполняет команду M00, то происходит останов. Все осевые перемещения останавливаются, при этом шпиндель (у большинства станков) продолжает вращаться. Работа по программе возобновляется со следующего кадра после нажатия кнопки «Старт».

M01 – останов с подтверждением.

Код M01 действует аналогично M00, но выполняется только после подтверждения с пульта управления станка. Если клавиша подтверждения нажата, то при чтении кадра с кодом M01 происходит останов. Если же клавиша не нажата, то кадр M01 пропускается и выполнение УП не прерывается.

M02 – завершение программы.

Код M02 указывает на завершение программы и приводит к останову шпинделя, подачи и выключению охлаждения в нулевой точке для данного станка.

M03 – вращение шпинделя по часовой стрелке.

При помощи кода M03 включается прямое вращение шпинделя с запрограммированным числом оборотов (S). Код M03 действует до тех пор, пока он не будет отменен с помощью M04 или M05.

M04 – вращение шпинделя против часовой стрелки.

При помощи кода M04 включается обратное вращение шпинделя с запрограммированным числом оборотов (S). Код M04 действует до тех пор, пока он не будет отменен с помощью M03 или M05.

M05 – останов шпинделя.

Код M05 останавливает вращение шпинделя, но не останавливает осевые перемещения.

M06 – смена инструмента.

При помощи кода M06 инструмент, закрепленный в шпинделе, меняется на инструмент, находящийся в положении готовности в магазине инструментов.

M07 – включение охлаждения № 2.

Код M07 включает подачу СОЖ в зону обработки в распыленном виде, если станок обладает такой возможностью.

M08 – включение охлаждения № 1.

Код M08 включает подачу СОЖ в зону обработки через внешние сопла в виде струи.

M09 – отключение охлаждения.

Код M09 выключает подачу СОЖ и отменяет команды M07 и M08.

M10 – зажим.

Код M10 относится к работе с зажимным приспособлением подвижных органов станка.

M11 – разжим.

Код M11 относится к работе с зажимным приспособлением подвижных органов станка.

M30 – конец информации.

Код M30 информирует СЧПУ о завершении программы, приводит к останову шпинделя, подачи и выключению охлаждения.

Разница между функциями M30 и M02 заключается в том, что при окончании программы обработкой функцией M30 курсор текущего положения переводится в самое начало текста управляющей программы, а с M02 остаётся в конце.

Для формирования кадров управляющей программы необходимо учитывать также параметры задаваемых команд.

Параметры команд задаются буквами латинского алфавита и цифрами, указывающими на размерный характер перемещения.

Код X задаёт конечную координату точки траектории при перемещении по оси X на ускоренной подаче (G0) или рабочей подаче (G1). Величина рабочей подачи задаётся адресом F:

G0 X100 Y0 Z0.

X100 – координата конечной точки перемещения вдоль оси X на ускоренной подаче (G0).

Y100 – координата конечной точки перемещения на ускоренной подаче по оси Y – G0 X0 Y100 Z0.

Z100 – координата конечной точки перемещения на ускоренной подаче по оси Z – G0 X0 Y0 Z100;

Для данного перемещения (G0) максимальная скорость обеспечивается техническими возможностями привода в мм/мин.

Для фрезерных станков перемещения задают в дюймах в минуту (IPM) или миллиметрах в минуту (mm/min); для токарных станков – в дюймах за оборот (IPR) или миллиметрах за оборот (mm/rev): G1 G91 X10 F100 (перемещение в относительной системе координат со скоростью 100 мм/мин).

S – скорость вращения шпинделя задают так: S3000 M03 (3000 об/мин с вращением по часовой стрелке – адрес M03).

D – параметр коррекции диаметра выбранного инструмента: G1 G41 D1 X10. F150.

### 3.4 Ручной способ программирования обработки

Используя приведенные выше данные возможны следующие варианты разработки управляющих программ, созданных в режиме ручного программирования.

Программирование с применением G-функций (в так называемых ISO-кодах) выполняется следующим образом.

Пусть необходимо создать управляющую программу обработки наружного контура детали (рис. 3.5) концевой фрезой диаметром 5 мм без коррекции на радиус инструмента. Припуск на обработку контура составляет 1 мм, который будет удаляться за один проход. Высота обрабатываемого контура – 4 мм. Подвод к контуру осуществляется по прямолинейному участку. Толщина исходной заготовки перед обработкой составляет 12 мм.

Вначале выбирается способ закрепления исходной заготовки на станке. Пусть для закрепления используют тиски, относительно верхней плоскости губок которых деталь приподнимают на специальных подкладках на высоту 5 мм, чтобы исключить возможный контакт инструмента с губками тисков в процессе резания. Затем определяют положение нулевой точки на детали, относительно которой будет создаваться управляющая программа обработки. Для удобства её привязки к детали эту точку размещают в центре исходной заготовки. Затем находят положение опорных точек, в которых инструмент должен изменять направление движения для формирования контура обрабатываемой детали и последовательно нумеруют эти точки с учётом особенностей обработки при фрезеровании. В этом случае для получения качественной поверхности следует выполнить обработку контура на попутном

фрезеровании. Для обработки контура с заданными размерами необходимо запрограммировать координаты опорных точек с учётом размера обрабатывающего инструмента, т. е. создать траекторию, которая эквидистантна обрабатываемому контуру и показывает положение центра режущего инструмента относительно контура на обрабатываемой заготовке.

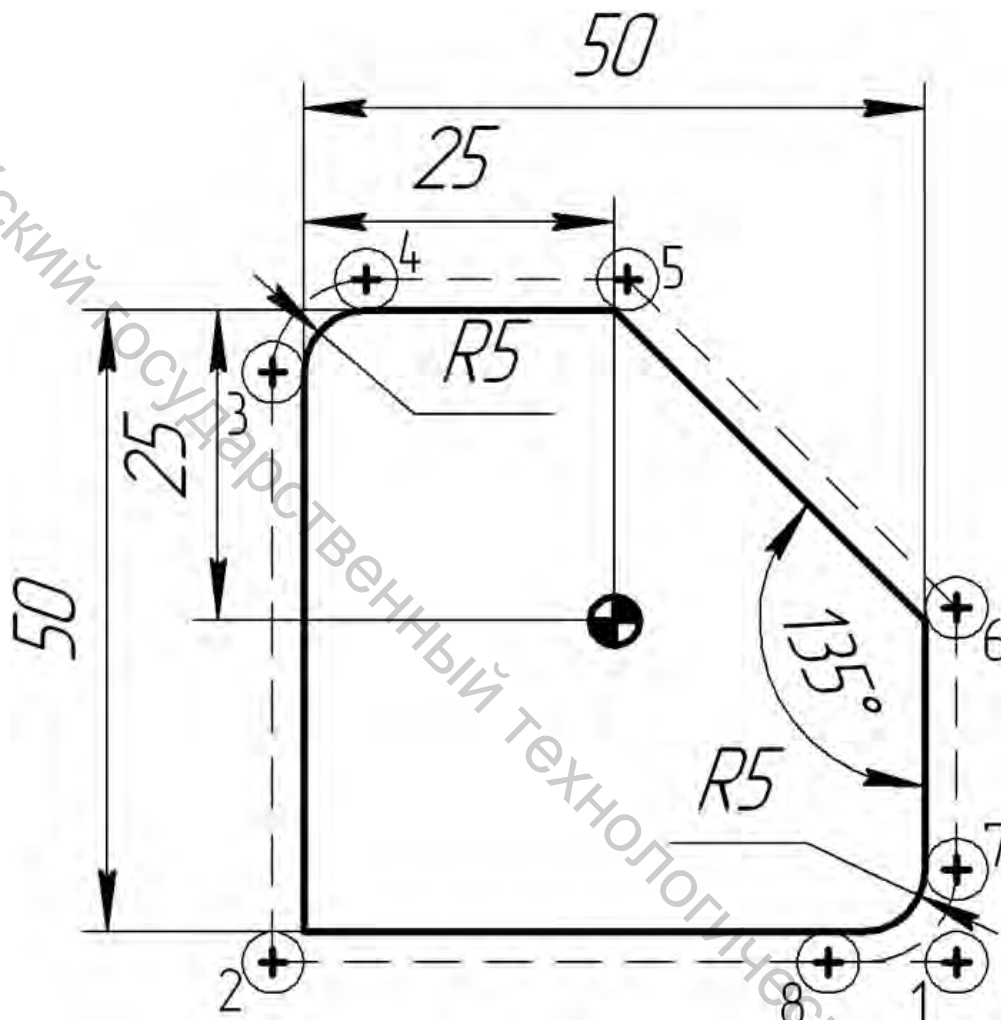


Рисунок 3.5 – Обрабатываемый контур и опорные точки для программирования обработки

С учётом изложенного выше, управляющая программа будет иметь вид, представленный в таблице 3.1. Записать такую управляющую программу можно в обычном текстовом редакторе, например, в «Блокноте» операционной системы Windows.

Правильный выбор способа установки и закрепления исходной заготовки на станке в каждом установе, которые необходимы для полной обработки всех геометрических элементов, является одним из важных условий создания корректной управляющей программы.

Другие примеры программирования обработки различных геометрических элементов операционной заготовки могут быть изучены с

использованием источника [19] в подразделе «Примеры управляющих программ».

Таблица 3.1 – Пример управляющей программы обработки контура

Управляющая программа	Пояснение
%	Символ начала программы
O0001	Программа O0001
(PROGRAM NAME – CONTOUR1)	Комментарий – имя программы
N100 G21	Режим ввода метрических данных
N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90	Строка безопасности
(FREZA D5)	Комментарий – фреза Ф5 мм
N104 T1 M6	Вызов инструмента № 1
N106 G0 G90 G54 X25. Y-27.5 S2000	Позиционирование в начальную
M3	точку траектории (1), включение
	оборотов шпинделя 2000 об/мин с
	правым вращением
N108 G43 H1 Z100.	Компенсация длины инструмента
	№ 1
N110 Z10.	Позиционирование в Z10
N112 G1 Z-4. F100.	Фреза опускается до Z-4
	на рабочей подаче 100 мм/мин
N116 X-27.5	Линейное перемещение в точку (2)
N118 Y20.	Линейное перемещение в точку (3)
N120 G2 X-20. Y27.5 R7.5	Перемещение по дуге в точку (4)
N122 G1 X1.036	Линейное перемещение в точку (5)
N124 X27.5 Y1.036	Линейное перемещение в точку (6)
N126 Y-20.	Линейное перемещение в точку (7)
N128 G2 X20. Y-27.5 R7.5	Перемещение по дуге в точку (8)
N130 G1 Z6.	Фреза поднимается к Z6
N132 G0 Z100.	Фреза поднимается на ускоренной
	подаче к Z100
N134 M5	Останов шпинделя
N136 G91 G28 Z0.	Возврат в исходную позицию по Z
N138 G28 X0. Y0.	Возврат в исходную позицию по X и
	Y
N140 M30	Конец программы
%	Символ конца программы

При программировании обработки следует помнить, что любую траекторию, которую должен пройти режущий инструмент и заготовка при обработке в их относительном движении, управляющая программа раскладывает на элементарные перемещения, состоящие из отрезков прямых линий и дуг окружностей, которые выполняют приводы подач. Такие

перемещения в ЧПУ называют интерполяциями. Все производимые в настоящее время системы ЧПУ оснащаются специальным электронным блоком – интерполятором, благодаря которому они имеют способность управлять взаимным перемещением инструмента и заготовки путем автоматического расчёта промежуточных точек траектории выполняемого перемещения. Это особенно важно при программировании перемещений, которые не совпадают с осями станка и выполняют формообразующие движения для обработки наклонных участков, скруглений (дуг окружностей) и элементов сложных поверхностей. Траектория движения режущего инструмента в этом случае будет иметь вид, представленный на рисунке 3.6 а, б.

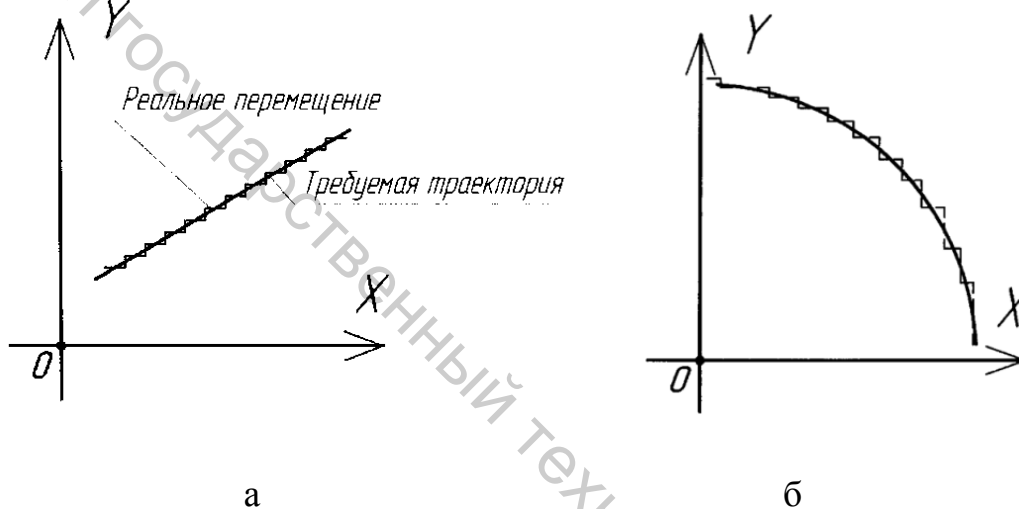


Рисунок 3.6 – Интерполяция при обработке:  
а – наклонных участков; б – скругления

Точность такой интерполяции определяется дискретностью приводов подачи, которая для современных станков с ЧПУ исчисляется 0,001 мм и даже точнее. Такая дискретность гарантирует высокую точность обработки сложных элементов геометрии обрабатываемой операционной заготовки.

### 3.5 Программирование обработки с использованием САМ-систем

#### 3.5.1 Общие сведения о САМ-системах

Использование САМ-систем в настоящее время является наиболее прогрессивным способом создания управляющих программ обработки деталей практически любой сложности. САМ-системы позволяют поднять программирование для станков с ЧПУ на более высокий уровень по сравнению с ручным программированием. САМ-системы облегчают труд технолога-программиста по следующим направлениям:

- избавляют технолога-программиста от необходимости делать математические вычисления перемещений вручную;
- позволяют создавать на одном базовом языке управляющие программы для различного оборудования с ЧПУ;
- обеспечивают технолога типовыми функциями, автоматизирующими ту или иную обработку.

Для использования САМ-системы технолог-программист применяет персональный компьютер или рабочую станцию, на котором установлено соответствующее программное обеспечение. В последнее время широко используются программные продукты, которые объединяют в себе возможности автоматизированного и автоматического проектирования, подготовки управляющих программ для оборудования с ЧПУ, включают системы инженерного анализа и расчётов и другие средства, обеспечивающие цифровизацию практически всех работ, выполняемых на предприятии машиностроительного профиля. Такие системы обозначают CAD/CAM/CAE/CAPP и т. д.

Наиболее передовыми продуктами в области систем CAD/CAM/CAE/CAPP в настоящее время являются следующие: NX компании Siemens PLM Software, CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) французской фирмы Dassault Systemes (которая продвигает её вместе с IBM) и Pro/ENGINEER (PRO/E) от PTC (Parametric Technology Corp.). Эти компании – лидеры в области полнофункциональных САПР, а их продукты занимают особое положение – на них приходится наибольшая доля объёма рынка в денежном выражении.

Кроме перечисленных, сегодня на рынке CAD/CAM представлен не один десяток систем, отличающихся возможностями, интерфейсом и стоимостью [20]. Есть ряд параметров, по которым можно составить первоначальное мнение о САМ-системе и выбрать наиболее подходящую для реальных производственных условий.

Первое – её интерфейс, то есть совокупность меню, пиктограмм и контекстных меню (окон). Главное требование к интерфейсу – удобство. Подавляющее большинство современных САМ-систем имеет интерфейс, аналогичный Windows, позволяющий сформировать удобную для пользователя атмосферу. Следует обратить внимание на язык интерфейса. Большинство САМ и их меню представлены на русском языке.

Второе. САМ-система не должна ограничивать технолога выбором только стандартного инструмента. Функция поддержки оригинального (пользовательского) инструмента позволит спроектировать инструмент любой формы прямо в системе и создать траекторию его перемещения.

Третье. САМ-система обязана иметь механизм, обеспечивающий предотвращение зарезов и столкновений инструмента с заготовкой и элементами приспособлений. Под зарезом понимают врезание инструмента в тело заготовки на величину, превышающую значение допуска номинального размера обработанного элемента.

Четвёртое. Траектории перемещения инструмента должны рассчитываться с учётом заданной заготовки как стандартной формы (в виде ограничивающего блока круглого или прямоугольного сечения, соответствующих сортового прокату круглого сечения и в виде листа), так и заготовки произвольной формы, приближенной к форме готовой детали, что позволит создать эффективные операционные переходы. Преимущество этой функции проявляется при работе с заготовками в виде отливок и штампованных заготовок. Если система не имеет этой функции, она производит расчёт траекторий на основе цилиндра или параллелепипеда. Полученная траектория окажется неоптимальной, в ней может присутствовать большое количество холостых перемещений. Кроме этого, система должна «видеть» заготовку, чтобы обеспечивать её дообработку на последующих операционных переходах как в текущем установе, так и других установках.

Способность системы «помнить», сколько материала было снято в предыдущих операциях, говорит об «интеллектуальном» потенциале системы. Функция дообработки позволяет автоматически находить недоработанные области и гарантирует получение максимально эффективных траекторий.

Пятое. САМ-система должна иметь возможность проверки управляющих программ.

Для этих целей используют бэкплот (Backplot) и верификацию. Бэкплот позволяет программисту-технологу просматривать перемещения режущего инструмента в виде линий траектории по 3D-модели.

Однако окончательная проверка управляющей программы осуществляется средствами верификации. Отличительная особенность технологии верификации заключается в демонстрации процесса обработки с визуализацией удаления материала. Верификация даёт возможность просмотреть сам процесс и окончательный результат исполнения рабочей программы в виде модели готовой операционной детали (полуфабриката). Верификация позволяет удостовериться в том, как обработаны отдельные участки детали, при этом можно наглядно увидеть необработанные участки операционной заготовки и скорректировать требуемые параметры.

К верификатору САМ-системы нужно отнестись очень внимательно. САМ-система должна обеспечивать возможность импорта трёхмерной модели заготовки из САД-модуля и верификацию этой модели. Кроме этого, верификатор системы должен отмечать цветовой гаммой места зарезов и выдавать сообщения о столкновениях инструмента с заготовкой.

Следует учесть, что графическое качество процесса верификации сильно зависит от производительности компьютера и соответствующих настроек верификатора. Как правило, между качеством и скоростью существует прямая зависимость – чем выше качество верификации, тем медленнее она производится. На производительность верификации оказывает влияние также объём разработанной управляющей программы.

Обычно верификаторы позволяют осуществлять визуальную проверку 3-осевой обработки. Верификация многоосевой обработки может быть опцией,

поставляемой разработчиком САМ-системы за дополнительную плату. Следовательно, если необходимо выполнять верификацию четырёх или пятикоординатной обработки в управляющей программе, следует проверить возможности верификатора заранее.

Наиболее продвинутые верификаторы позволяют интенсивно работать с 3D-моделью заготовки. Дополнительным преимуществом является способность осуществлять проверку не только промежуточного, так называемого CLDATA-файла, но и кода управляющей программы.

Часто возникают ситуации, когда технологу-программисту приходится работать с импортированной геометрией 3D-модели детали. При этом модель может попасть в САМ-модуль с исчезнувшими или нарушенными геометрическими элементами. САМ-система должна обеспечивать работу с целью подготовки корректной 3D-модели. В противном случае САМ-система на этапе генерирования траектории движения инструмента выдаст сообщение о некорректности геометрической информации и не создаст траекторию обработки.

Шестое. При создании геометрии детали в САД-системе, которая не связана с САМ-системой, и передачи файлов моделей в САМ необходимо использовать конверторы (трансляторы). Конверторы предназначены для преобразования графических файлов одного формата в графические файлы другого (требуемого) формата. О формате можно судить по расширению файлов. Например, .DWG, .DXF, .IGS, .STL, .SAT. При изучении САМ-системы необходимо убедиться в наличии требуемых конверторов и проверить качество конвертации файлов.

### **3.5.2 Создание управляющей программы токарной обработки заготовки в САМ-системе**

Цеховое программирование в настоящее время считается малоэффективным. Во-первых, клавиши стойки ЧПУ менее удобны, чем клавиатура персонального компьютера. Во-вторых, программное обеспечение СЧПУ предоставляет меньшие возможности по редактированию программ. В-третьих, ручной ввод управляющей программы в память СЧПУ физически мешает оператору запустить процесс обработки деталей на этом станке, снижая производительность станка вследствие простоя. Исключение составляют, пожалуй, лишь стойки со встроенной САМ-системой.

Разработка программы обработки на компьютере с установленной САМ-системой является наиболее прогрессивным способом создания управляющих программ для оборудования с ЧПУ.

Далее рассматривается алгоритм создания управляющей программы для станков с ЧПУ в среде NX от фирмы Siemens [21].

При работе в САМ-системе обычно используют информацию, чаще всего, графическую в виде 3D-моделей или рабочих чертежей деталей, разработанную в конструкторском отделе предприятия.

В модуле САМ-системы NX принят за основу принцип мастер-модели. Концепция мастер-модели, заключается в использовании 3D-модели, созданной конструктором, в качестве исходных данных на последующих стадиях жизненного цикла изделия, таких как [22]:

- инженерные расчеты;
- разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ;
- разработка управляющих программ для контрольно-измерительных машин;
- разработка средств технологического оснащения;
- разработка операционной технологии;
- разработка операционных эскизов обработки;
- симуляция и верификация процессов изготовления;
- разработка интерактивных инструкций, каталогов, руководств и т. д.

Например, для разработки управляющих программ для выполнения обработки инженер-программист выбирает из единой базы данных существующую 3D-модель, создаёт с неё ассоциативную копию и разрабатывает на её основе управляющую программу. Ассоциативность исходной конструкторской и технологической 3D-модели позволяет, при необходимости, передать изменения с последующим перестроением управляющей программы.

Конструкторская модель проектируется один раз и используется различными службами предприятия (рис. 3.7).

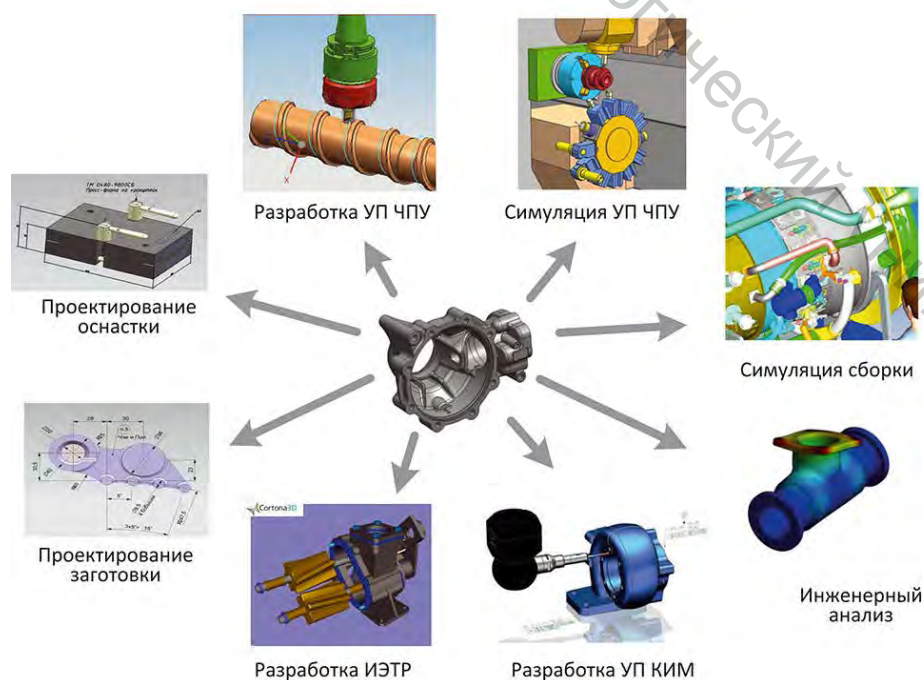


Рисунок 3.7 – Концепция мастер-модели и её использование

На последующих стадиях жизненного цикла изделия используются её ассоциативные копии, сохраняющие связь с родительской деталью в плане передачи изменений. Концепция мастер-модели реализуется соответствующим функционалом CAD/CAE/CAM/PDM системы (NX, NX CAM, Teamcenter). Реализация концепции зависит от функционала конкретных программных продуктов и наличия интеграционных решений, обеспечивающих обмен данными.

Преимущества использования такой концепции заключается в сокращении сроков проектирования за счёт повторного использования существующих данных (нет необходимости повторного моделирования). Кроме этого, обеспечивается непротиворечивость и достоверность информации, поскольку используется единый источник информации, реализуются принципы параллельного проектирования с разделением ответственности через права доступа, обеспечивается автоматизированное отслеживание изменений CAD/CAM/CAE-моделей за счёт ассоциативности обновляемых данных и т. д.

Основная работа при программировании обработки происходит в модулях системы NX «Моделирование» и «Обработка» [23]. В зависимости от выбранного модуля изменяется набор команд (меню). Переключение между модулями осуществляется либо комбинацией горячих клавиш, либо через вкладки меню «Файл».

Инициализация NX CAM под управлением ОС Windows осуществляется из меню «Пуск» – «Все программы» – Siemens NX (9.0 и т. д. – версия программного обеспечения) – NX 9.0. Для знакомства с интерфейсом может быть открыт уже созданный в NX в качестве примера проект, например, файл NX 9\_Turn\_Part.prt. Затем выполняют действие «Файл» – «Новый». Выбирают вкладку «Обработка – (Шаблон)» – «Токарная (Express)» и нажимают ОК.

В соответствии с принципом мастер-модели будет создана родительская сборка с именем по умолчанию NX 9\_Turn\_Part\_setup\_1.prt, содержащая обрабатываемую деталь как компонент, вся информация, связанная с обработкой, будет записываться в файл сборки. В графической части САМ-системы появится образ 3D-модели детали (рис. 3.8).

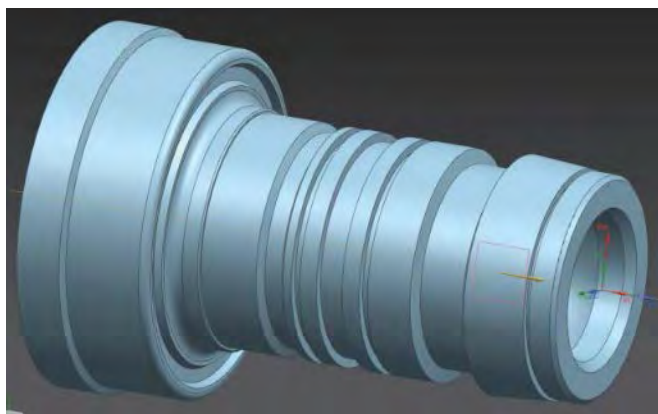


Рисунок 3.8 – Пример детали для программирования токарной обработки в NX

Также будет создано несколько объектов обработки, некоторые из них специфичны для токарной обработки. «Навигатор операций» NX показывает вновь созданные объекты (рис. 3.9).

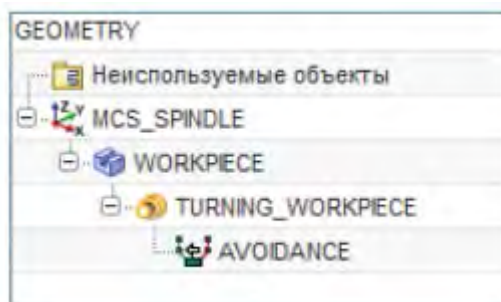


Рисунок 3.9 – Создание файла токарной обработки детали в NX

Следует учитывать, что файлы обработки имеют такое же расширение, как и другие файлы NX, – prt, кроме этого, следует располагать созданные файлы в отдельных папках на диске, путь к которым и их название записывают в английской транскрипции, в противном случае созданные проекты выполняться не будут.

Токарная обработка программируется как двухосевая обработка при использовании токарных станков с ЧПУ с неприводными инструментами, при этом используются два плоских контура, определяющих деталь и заготовку.

Созданная геометрическая группа TURNING\_WORKPIECE автоматически вычисляет токарные сечения детали и заготовки, заданные в группе WORKPIECE.

Токарное сечение – это сечение модели, учитывающее все выступающие элементы, превращающее, например, бобышку в буртик.

Группа AVOIDANCE («Маневрирование») не является обязательной, но её создание позволяет задавать общие для набора операций движения резания, отвода (перебега), перехода между проходами и др.

Кроме этого, в примере созданы методы обработки по умолчанию, магазин инструментов на 8 позиций, что характерно для revolverных головок, два резца с разной геометрией режущей пластины для наружного точения и некоторые другие объекты.

Для ознакомления с созданными объектами рекомендуется включить в «Навигаторе операций» последовательно разные виды созданных объектов и посмотреть их структуру.

Для программирования обработки необходимо создать системы координат, необходимые для формирования траектории движения режущего инструмента, которые учитывают наличие станка, режущего инструмента, заготовки и т. д.

Вначале выполняют привязку системы координат станка к правому торцу детали.

Дважды щелкают по объекту MSC\_SPINDLE во вкладке GEOMETRY. Откроется диалогового окно «СКС шпинделя» (рис. 3.10).

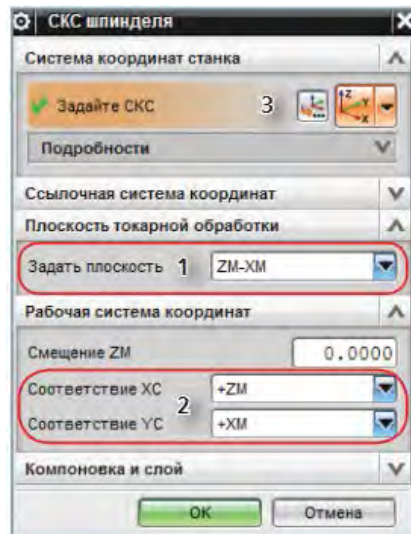


Рисунок 3.10 – Привязка системы координат станка к детали

Обычно токарная обработка выполняется в плоскости ZX, причём к обозначению координатных осей станка добавляют символ M (Machine) и ось ZM совпадает с осью вращения детали, а XM направлена вверх. Для большинства станков используют такое положение осей, однако необходимо обратить внимание на вкладку 1, чтобы именно такое положение осей станка было установлено.

Для ввода координат обработки используется рабочая система координат – РСК, причём плоскость, в которой она отображается, будет плоскостью XY модели детали. Эта плоскость должна совпадать с плоскостью ZX станочной системы координат (СКС). Правильное соответствие осей РСК и СКС показано в графической области и во вкладках диалогового окна «Соответствие XC» и «Соответствие YC» (2). Индекс С в обозначении указывает на то, что эта система координат принадлежит детали.

Затем позиционируют СКС, используя вкладку «Задайте СКС» (3) диалогового окна и динамические маркеры в графической области. Отображают РСК и позиционируют её, используя для этого конструкторскую систему координат детали и совмещая эти системы координат друг с другом. Добавляют в сборку новый компонент NX 9\_Tum\_B.lank.prt с позиционированием в абсолютной системе координат. Этот компонент будет использован для задания геометрии заготовки.

Раскрывая геометрическую вкладку WORKPIECE, задают деталь и заготовку. После этого выключают отображение компонентов в «Навигаторе сборки» и выбирают геометрическую группу TURNING\_WORKPIECE.

В результате будут отображены сечения детали и заготовки, рассчитанные САМ-системой автоматически (рис. 3.11). Сечение детали состоит из набора отдельных геометрических элементов.



Рисунок 3.11 – Сечения детали и заготовки для программирования обработки

Для задания сечений используются их границы, сторона материала определена автоматически и показана маркерами. Для программирования применяют только сечения, которые показаны координатами в положительном направлении оси XM, а элементы, симметричные относительно оси вращения детали, показаны для наглядности. Для программирования только токарной обработки можно явно задать сечения детали и заготовки в группе TURNING\_WORKPIECE (причём без использования твердотельной модели).

Затем выбирают исходную заготовку детали. Выбор варианта создания заготовки выполняют в группе TURNING\_WORKPIECE. Во вкладке «Токарная заготовка» – «Геометрия» – «Контур вращения» устанавливают «Нет» (1), а задают заготовку во вкладке «Границы заготовки» – 2 (рис. 3.12).

Раскроется новое окно «Выберите заготовку», в котором доступны способы создания заготовки для токарной обработки (3): из сортового проката, из трубы, с приближённым к контуру детали профилем (полученная литьём или горячей объёмной штамповкой). Кроме этого, имеется ещё одна вкладка, которая служит для сохранения заготовки от предыдущего установа и её передачи для выполнения следующего установа.

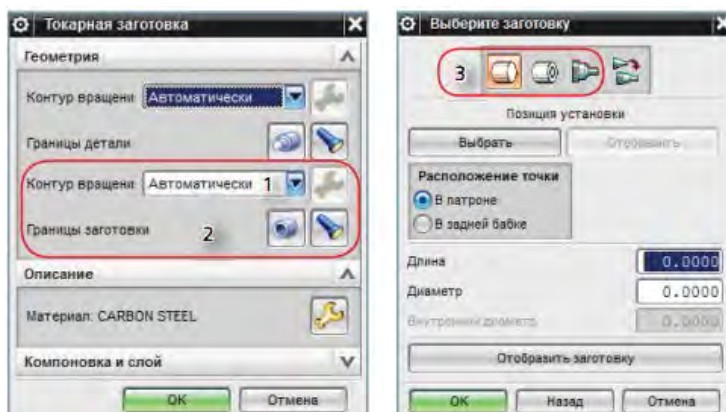


Рисунок 3.12 – Создание заготовки для обработки

Дважды нажимают ОК. Объект будет создан и в «Навигаторе операций» он будет вложен внутрь вкладки AVOIDANCE («Ограничения», рис. 3.9). В ней можно задавать общие ограничения для нескольких операций.

Создают ещё один геометрический объект, который не является обязательным, однако полезен в токарной обработке. Это объект CONTAINMENT («Ограничения»). Выполняют команду создания геометрии, в появившемся диалоговом окне (рис. 3.13) выбирают вкладку CONTAINMENT, располагают обозначения как показано на этом рисунке, дважды нажимают ОК.

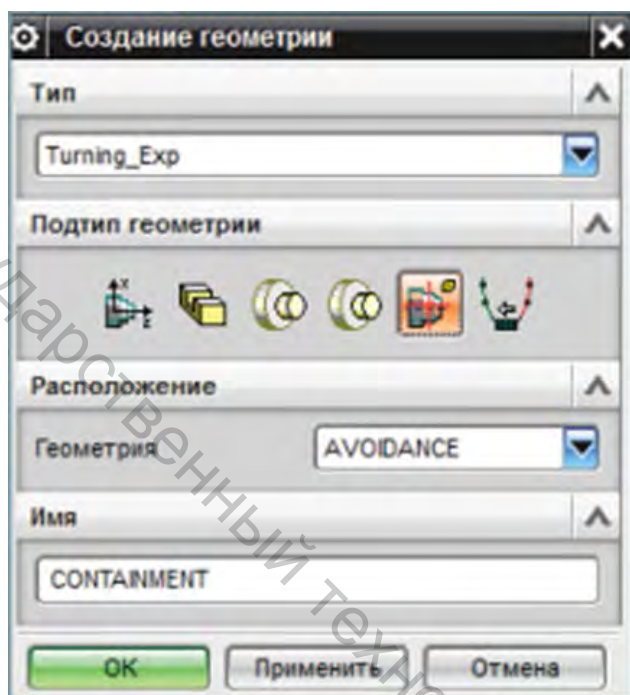


Рисунок 3.13 – Создание ограничений для обработки

В навигаторе операций обозначенный выше объект будет вложен внутрь вкладки AVOIDANCE (рис. 3.14).

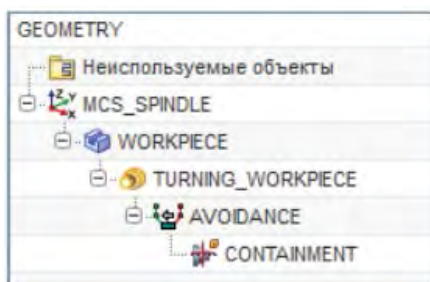


Рисунок 3.14 – Вид «Навигатора операций» для создания ограничений

Целесообразно для обработки во вкладке AVOIDANCE создать начальную точку, точку возврата и во вкладке CONTAINMENT ограничение осевого перемещения инструмента для защиты его от столкновения с патроном.

Это позволит создать условия для корректного подхода к области резания, выхода из неё, а также устранил вероятность соударения инструмента револьверной головки с патроном.

Для этого дважды щелкают по вкладке AVOIDANCE, появится диалоговое окно с эскизом расположения назначаемых точек (рис. 3.15).

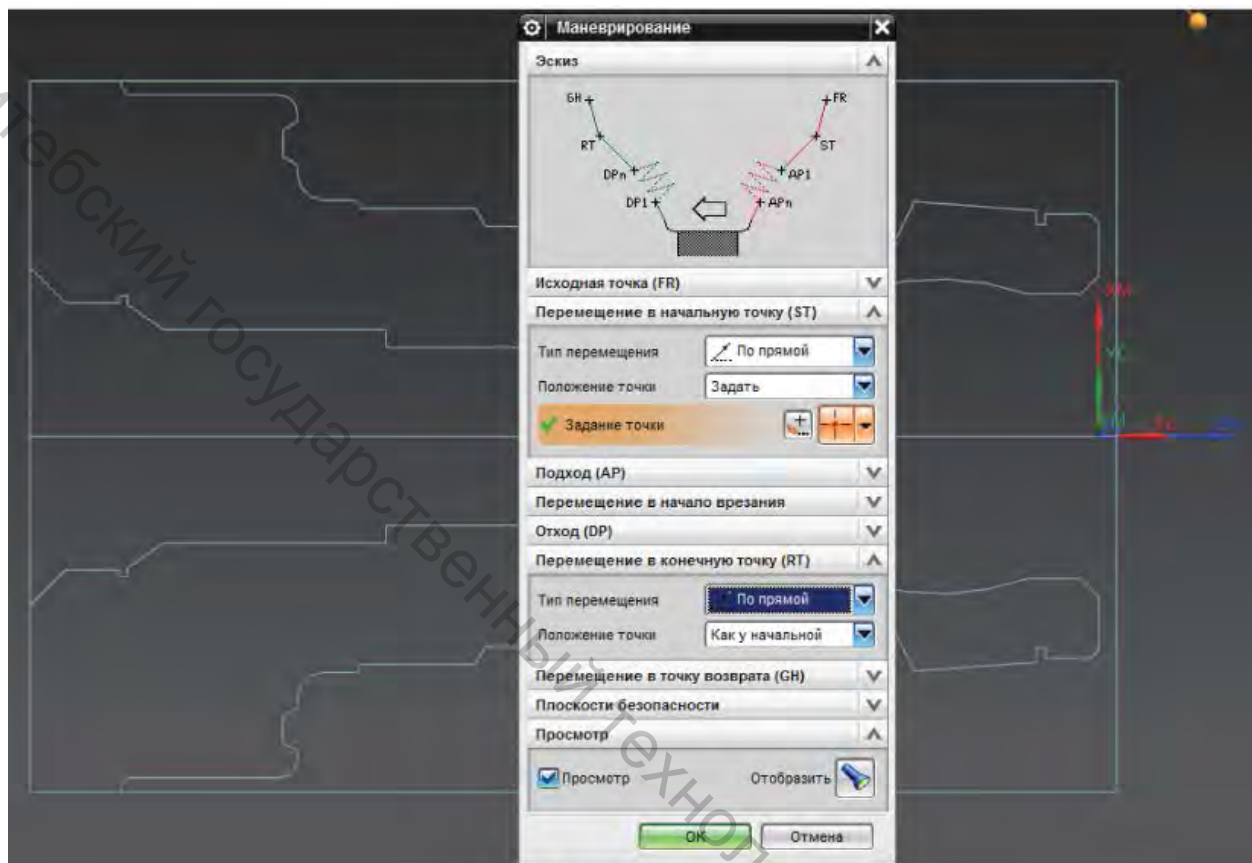


Рисунок 3.15 – Вид вкладки «Маневрирование» и положение начальной точки в графической части

В этом меню задают начальную точку – ST и точку возврата – RT, выделяя вкладку «Задание точек», а также способы перемещения в эти точки. Для начальной точки – «По прямой», для конечной – «Радиальное-осевое», чтобы был корректно выполнен отход от обрабатываемой поверхности – сначала в радиальном направлении, затем – в осевом. Это устранил возможные коллизии в конце прохода при удалении припуска с заготовки. При программировании других переходов обработки эти установки могут быть изменены.

Для задания ограничения в осевом направлении дважды щелкают по вкладке CONTAINMENT. Появится диалоговое окно «Ограничения» (рис. 3.16). Во вкладке «Осевая плоскость обрезки 1» используют вкладку «Задание точек» и создают эту точку, перетаскивая маркер точки в осевом направлении, как показано на рисунке. Эта точка будет принадлежать назначаемой осевой плоскости обрезки. Затем нажимают ОК.

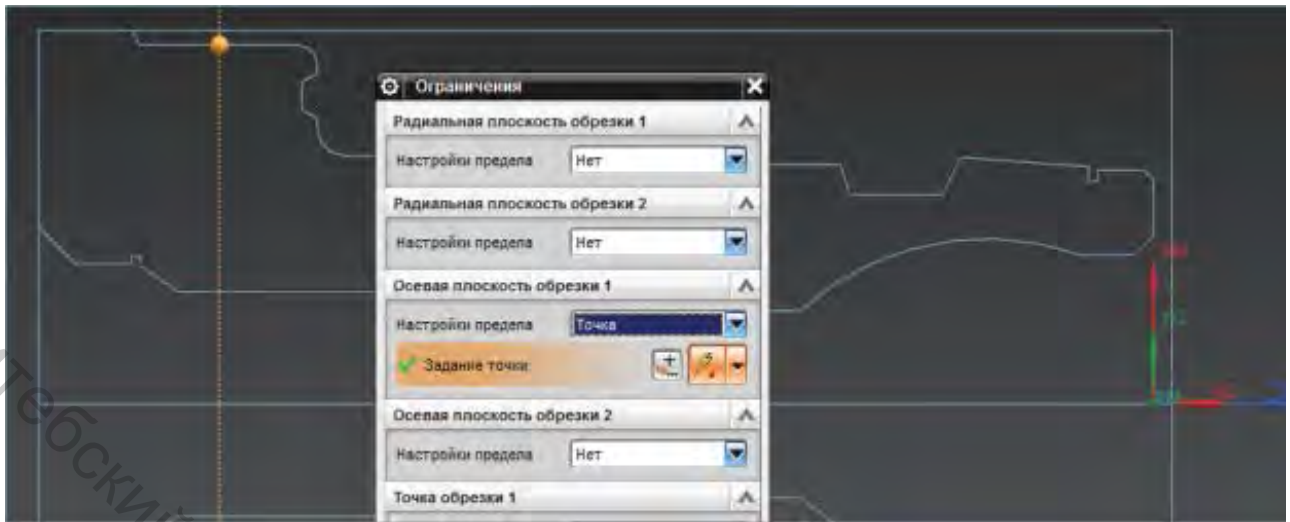


Рисунок 3.16 – Создание ограничения в осевом направлении заданием точки, принадлежащей плоскости

Инструменты, выполняющие обработку наружного контура, не смогут перемещаться левее указанной плоскости. В других операциях эта точка и, соответственно, плоскость, может быть изменена.

Затем переходят к созданию операций обработки поверхностей заготовки.

Для этого в верхней части инструментальной панели находят вкладку «Операции» и раскрывают её. Появится диалоговое окно «Создание операции» (рис. 3.17). В нём выбирают тип обработки Turning\_Exp, в котором доступны для создания следующие операции (в скобках приведено название операции в стандарте ЕСТД, в соответствии с которым правильно говорить не об операциях, а о переходах в операциях токарной, фрезерной и других видах обработки):

- 1 – осевая центровка (центрование);
- 2 – осевое сверление;
- 3 – торцевание (подрезка торца);
- 4 – черновое наружное точение;
- 5 – черновое внутреннее точение;
- 6 – чистовое наружное точение;
- 7 – чистовое внутреннее точение;
- 8 – обработка наружных канавок;
- 9 – обработка внутренних канавок;
- 10 – обработка торцовых канавок;
- 11 – нарезание наружной резьбы резцом;
- 12 – нарезание внутренней резьбы резцом;
- 13 – отрезка;
- 14 – управление станком (операция, не связанная с геометрией).

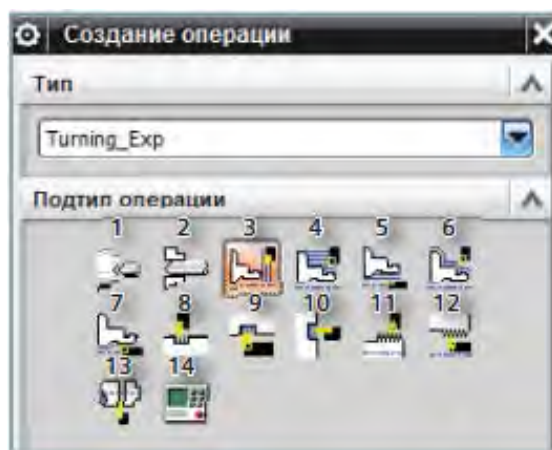


Рисунок 3.17 – Доступные для программирования токарные операции

Обычно обработку тел вращения начинают с подрезки торца. Так появится первая базовая поверхность, от которой можно выполнять отсчёт линейных размеров обрабатываемых элементов.

Для этого нажимают вкладку «Торцевание» (FACING), используя инструмент из примера с обозначением OD\_80\_L, геометрию из вкладки CONTAINMENT (1), метод обработки – LATHE\_FINISH, программную группу 1234 (по умолчанию).

Появится диалоговое окно (рис. 3.18), в котором вкладки настройки траектории развёрнуты в правой части рисунка.

Вкладка «Геометрия» (1) отображена в верхней части окна. Стратегия по умолчанию назначена «Зиг по прямой» (2). Под зигом понимают такую стратегию выполнения проходов по обработке элемента заготовки, при котором инструмент совершает перемещения относительно заготовки в одном направлении. Угол, указывающий направление перемещения инструмента относительно заготовки, находят, раскрывая вкладку «Настройка траектории». Этот угол составляет  $270^\circ$  (3 – «Угол от ХС»), поскольку отсчитывается в рабочей системе координат от оси ZM против часовой стрелки, что позволит создавать радиальные проходы к оси детали. Глубину резания во вкладке «Шаг» можно оставить по умолчанию равной 3 мм. Включение вкладки «Обновить ЗвПО» (5) позволяет учитывать состояние заготовки после предыдущих операций.

Далее необходимо только ввести новое осевое ограничение, чтобы подрезка торца была выполнена с учетом припуска на эту поверхность.

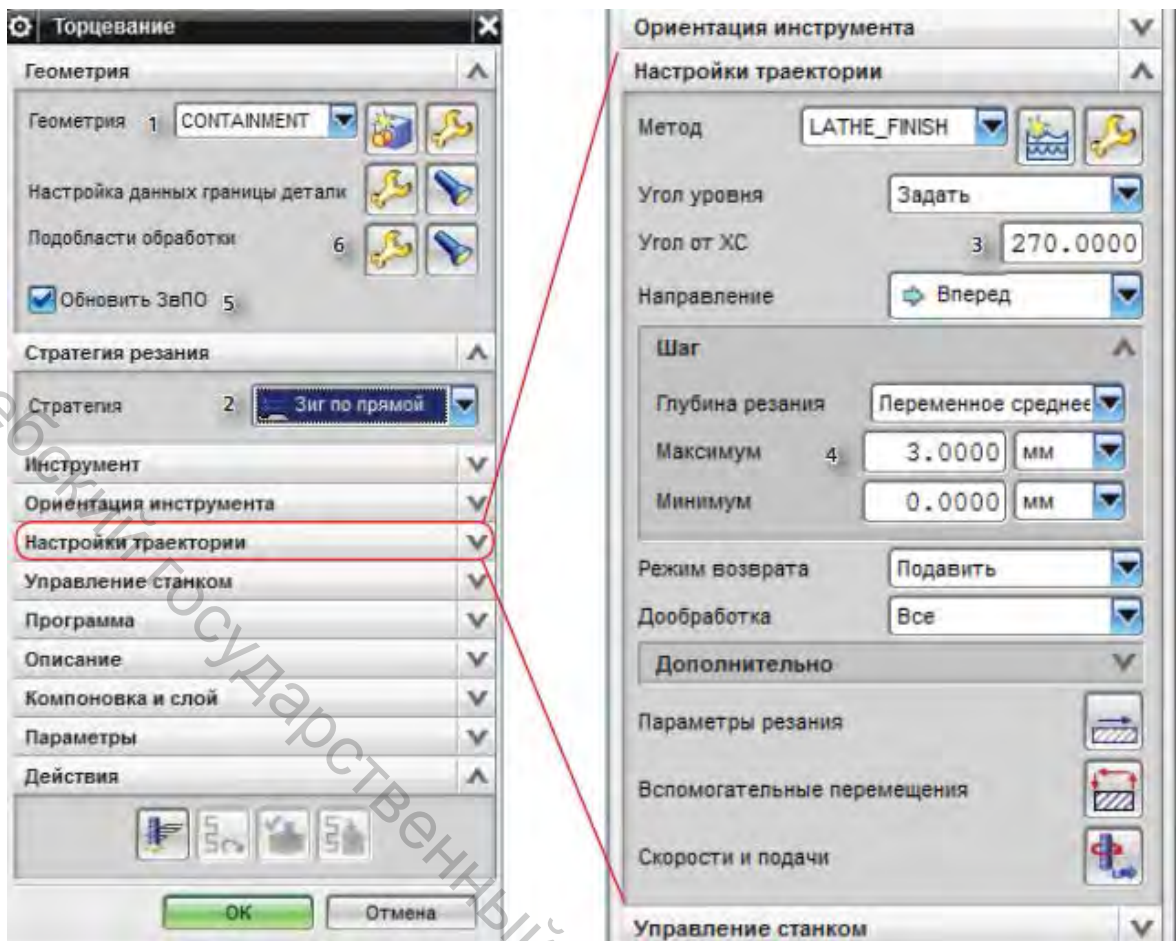


Рисунок 3.18 – Задание параметров для программирования подрезки торца

Для этого используют вкладку «Подобласти обработки» (6), появится новое диалоговое окно (рис. 3.19).

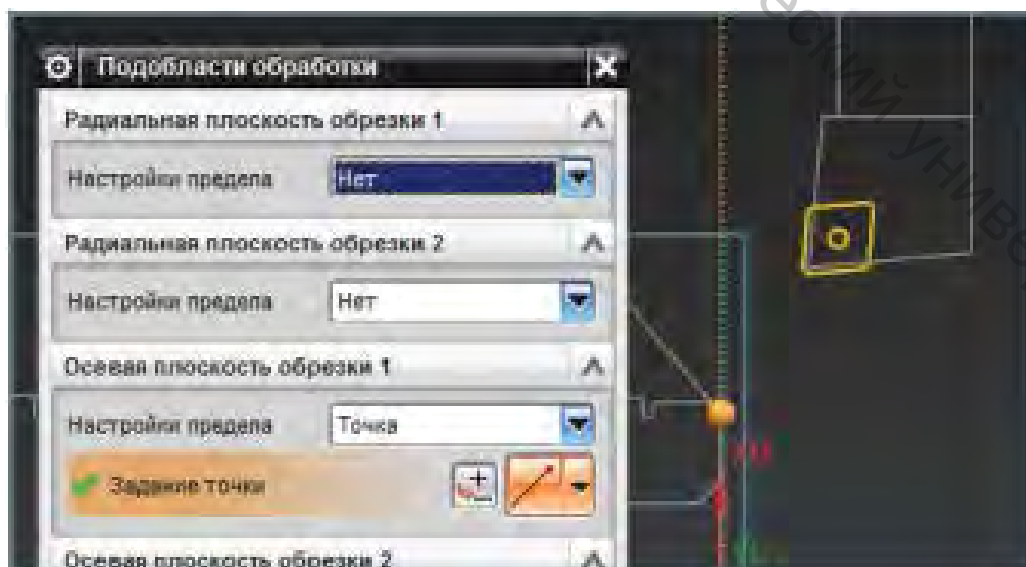


Рисунок 3.19 – Задание осевого ограничения при подрезке торца

В этой вкладке задают осевое ограничение как показано на рисунке и нажимают ОК, затем в основном меню – «Генерировать» и ещё раз ОК.

Результат операции показан на рисунке 3.20. При этом система показывает оставшийся материал жёлтым цветом, а удаляемый материал – зелёным цветом.



Рисунок 3.20 – Сгенерированный операционный переход подрезки торца, представленный в 2D

Затем следует составить управляющую программу чернового наружного точения элементов детали. Для этого, используя инструментальную панель, создают операцию «Черновое наружное точение» (ROUGH\_TURN\_OD). Появится диалоговое окно (рис. 3.21), параметры настройки траектории развёрнуты в правой части рисунка. Стратегия по умолчанию – «Зиг по прямой». Угол, указывающий направление перемещения инструмента относительно заготовки, находят, раскрывая вкладку «Настройка траектории», и устанавливают его равным  $180^\circ$ , то есть при резании будут выполняться проходы вдоль оси заготовки справа налево.

В примере используют инструмент с обозначением OD\_55\_L, вкладка «Геометрия» указывает на группу CONTAINMENT, метод обработки – LATHE\_ROUGH (черновое точение), программа обработки создаётся в группе 1234. Поскольку за один проход весь припуск удалить невозможно, во вкладке «Режим возврата» следует задать способ перемещения инструмента после рабочего прохода в зону врезания на последующих проходах.

Следует обратить внимание на вкладку «Шаг», в которой задают величину глубины резания. По умолчанию указано максимальное значение 4 мм, его обычно корректируют по фактической глубине резания, которую допускает выбранный режущий инструмент. Эти значения приводятся в каталогах производителей режущих инструментов или в технологических справочниках.

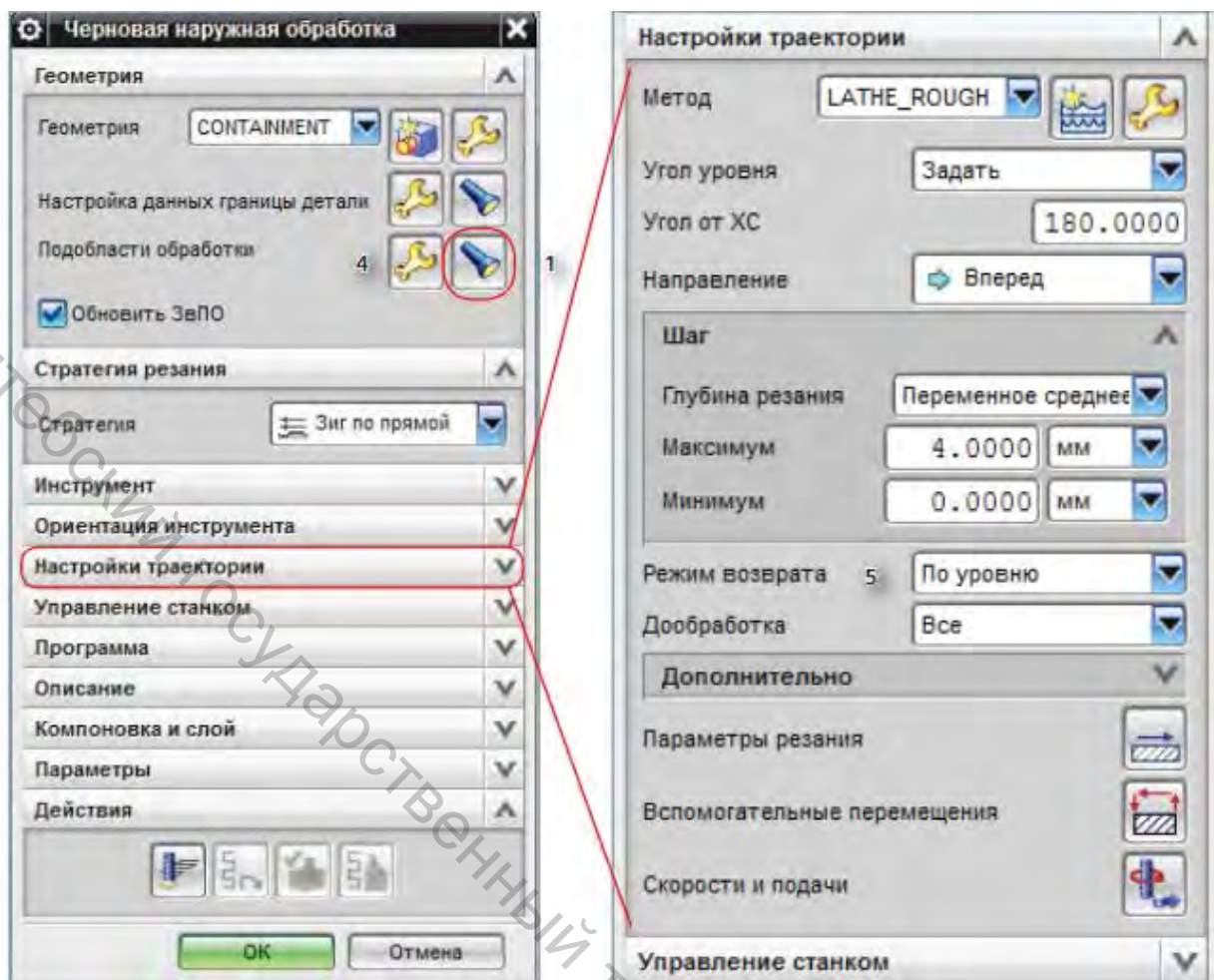


Рисунок 3.21 – Параметры обработки при наружном черновом точении

Расчётная область обработки отображается в графической области (рис. 3.22). Область обработки рассчитывается с учётом начальной точки управляющей программы и геометрии режущего инструмента.



Рисунок 3.22 – Расчётные области обработки при наружном черновом точении

На экране отмечены две области обработки, которые отображены САМ-системой при анализе геометрии, обозначенные цифрами 2 и 3. Область 3 из обработки следует исключить, поскольку центральная часть будет обрабатываться другими способами. Для исключения области вводят радиальное ограничение, которое задают во вкладке «Подобласти обработки» (4 на рис. 3.21) указанием точки во вкладке «Радиальная плоскость обрезки 1» (4 на рис. 3.21) указанием точки во вкладке «Радиальная плоскость обрезки 1». Это ограничение задают, как показано на рисунке 3.23. Благодаря этому область, отмеченная цифрой 3, из обработки исключена.

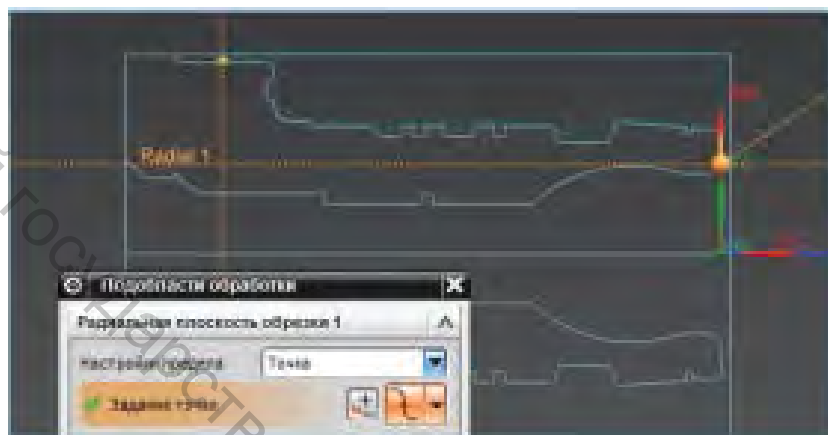


Рисунок 3.23 – Задание ограничения обработки в радиальном направлении

Следует обратить внимание на то, что при обработке на последних проходах по снятию припуска инструмент будет погружаться в канавки, причём настолько, насколько позволяет его геометрия. Один из таких вариантов показан красной стрелкой на рисунке 3.22 (для наглядности показан режущий инструмент).

Если погружение в канавки нежелательно, поскольку они часто обрабатываются канавочными резцами, его можно изменить, используя вкладку «Режим возврата» (5 на рис. 3.21). Раскрывая эту вкладку, устанавливают в ней значение «Подавить» и затем генерируют траекторию. Получают результат, показанный на рисунке 3.24.



Рисунок 3.24 – Сгенерированная траектория черновой обработки

Сгенерированные траектории должны быть проверены на корректность выполнения перемещений, которые выполняет режущий инструмент при снятии припуска с заготовки. Для этих целей, как указывалось выше, используют принцип верификации.

Для верификации сгенерированной траектории удобно использовать режим 2D. Для этого раскрывают диалоговое окно «Визуализация траектории инструмента» и во вкладке «Воспроизведение» активируют вкладку «Удаление материала в 2D» (рис. 3.25).

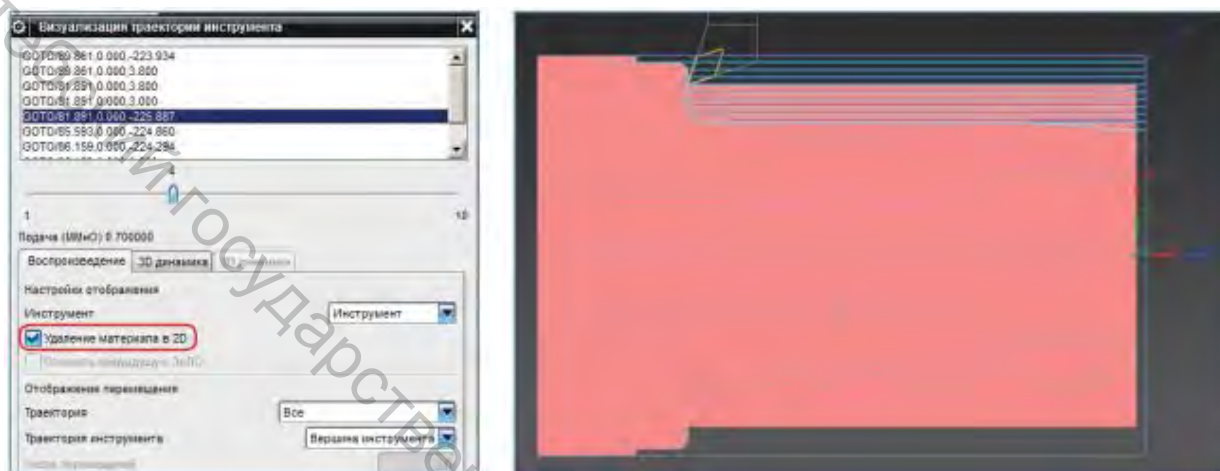


Рисунок 3.25 – Верификация черновой обработки в 2D

Кроме этого, можно использовать вариант верификации обработки в 3D. В этом случае доступен вариант показа и просмотра текущего состояния заготовки в 3D после выполнения любой операции. Для задания такого способа отображения обработки из контекстного меню операции (рис. 3.26) во вкладке «Заготовка» в раскрывшемся всплывающем меню следует активировать вкладку «Показать в 3D» (1).

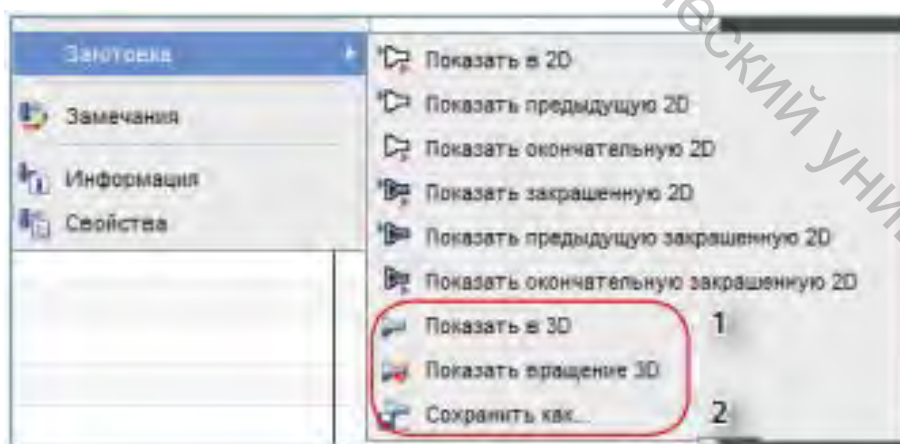


Рисунок 3.26 – Верификация черновой обработки в 2D

В результате в графической части САМ-системы отобразятся созданные операционные переходы (рис. 3.27).

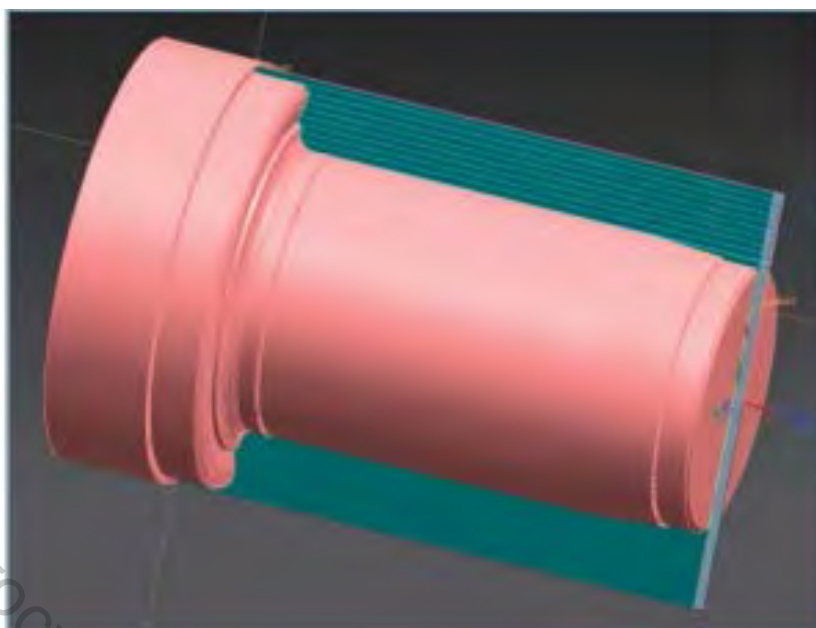


Рисунок 3.27 – Верификация подрезки торца и наружного продольного точения в 3D

Используя всплывающую вкладку «Сохранить как» (вкладка 2 на рис. 3.26), можно сохранить полученную операционную заготовку для её использования при программировании последующих переходов обработки.

При выполнении черновой наружной обработки выше использована стратегия снятия припуска параллельными проходами с выбранной глубиной резания (так называемый «Зиг по прямой»).

Возможны другие способы удаления припуска в этом переходе. Для этого раскрывают вкладку «Стратегия резания» (рис. 3.28).

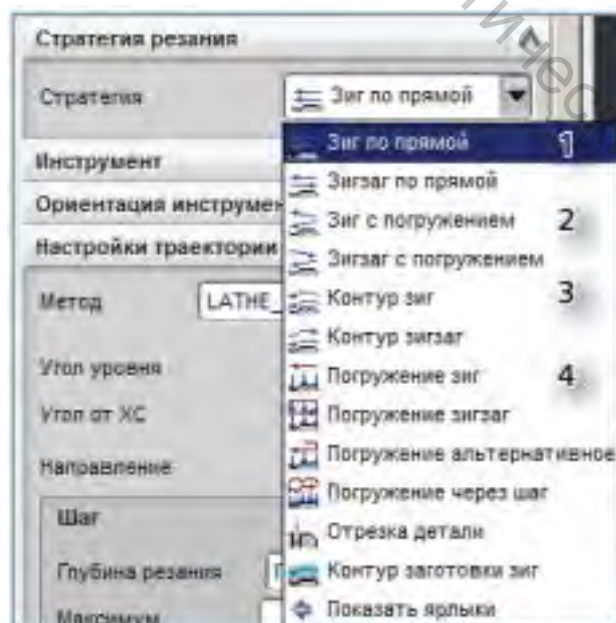


Рисунок 3.28 – Верификация подрезки торца и наружного продольного точения в 3D

Для реза данного типа (который называют проходным упорным) при продольном точении обычно используется стратегия «Зиг» (однонаправленное резание справа налево, принятое для программирования обработки). Способ удаления припуска «Зигзаг» не применяется, поскольку при работе слева направо для инструмента обычной конструкции существенно изменяются условия снятия стружки на врезании в каждом проходе и при точении цилиндрической поверхности, что ухудшает условия обработки, снижает стойкость режущего инструмента и ухудшает качество обработанной поверхности, появляются вибрации.

Однако в последнее время наметилась тенденция применения так называемого точения во всех направлениях (разработки Sandvik Coromant), в том числе, обратного резания резцами с режущими пластинами специальной конструкции, при которой движения резания совершаются от патрона к торцу заготовки (слева направо). Такой метод позволяет удвоить скорость резания и подачу. Формируется более тонкая и широкая стружка, а нагрузки и тепло распределяются вдоль режущей кромки, а не сосредотачиваются у вершины пластины – в результате удаётся увеличить параметры режимов резания и повысить стойкость инструмента.

В стратегии «Зиг с погружением» (2) проход формируется с переменной глубиной резания, за счёт чего увеличивается стойкость инструмента, особенно при обработке труднообрабатываемых материалов, улучшаются условия для стружколомания. Величина погружения при этом задаётся в специальной вкладке «Шаблон множественно».

Для задания такой стратегии во вкладке «Стратегия резания» устанавливаются параметры, как показано на рис. 3.29.

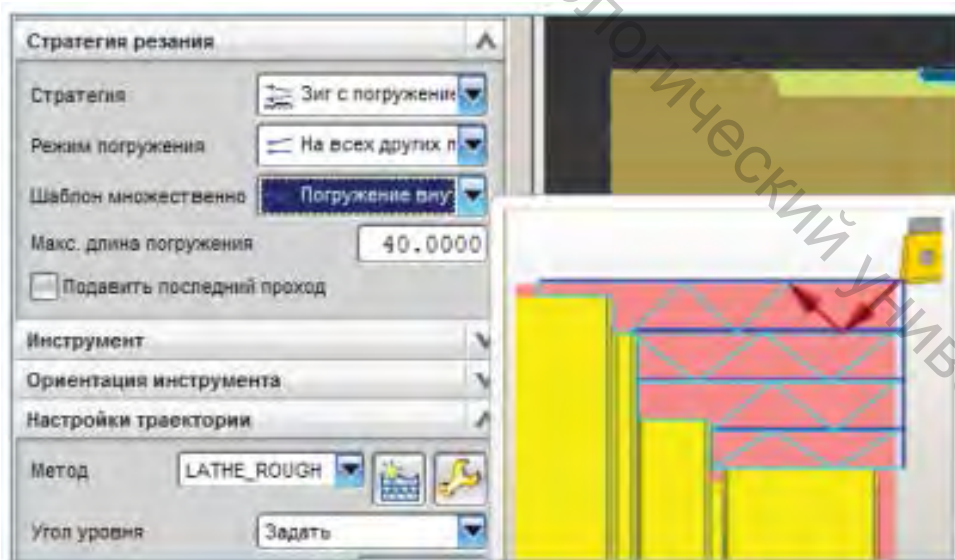


Рисунок 3.29 – Меню выбора параметров стратегии обработки «Зиг с погружением»

Траектория реза при черновой обработке для этой стратегии при заданной длине погружения 40 мм показана на рис. 3.30.



Рисунок 3.30 – Траектория движения резца в стратегии «Зиг с погружением»

При программировании обработки можно использовать стратегию «Контур зиг» (3), которая формирует эквидистантные проходы от контура готовой детали (рис. 3.31).



Рисунок 3.31 – Траектория движения резца в стратегии «Контур зиг»

Кроме этого, при наружной обработке используют стратегию «Погружение зиг» (4), в которой обработка производится перемещением инструмента в радиальном направлении аналогично подрезке торца (рис. 3.32).

В токарных операциях автоматически создается заготовка в процессе обработки (ЗвПО), которая затем используется при программировании последующих переходов.



Рисунок 3.32 – Траектория движения резца в стратегии «Погружение зиг»

После черновой обработки обычно программируют получистовую или чистовую обработку. Перед её программированием следует учесть требования к размерной точности и шероховатости геометрических элементов готовой детали, которые достигаются при выполнении отделочных видов механической обработки, например, шлифовании. В этих случаях на таких поверхностях после токарной обработки оставляют припуски.

Припуски задают во вкладке «Параметры резания». При этом припуски задают отдельно для цилиндрических (диаметральных) и торцовых поверхностей.

В NX используют отдельные параметры, с помощью которых определяют, какие поверхности относятся к диаметрными и торцовым. Для этого во вкладке «Параметры резания» могут быть использованы вкладки «Стратегия», «Припуск», «Углы», «Типы контуров» «Профиль».

Раскрывая вкладку «Типы контуров» появится меню «Диапазон торца и диаметра», изображённое на рисунке 3.33. В нём по умолчанию заданы минимальный и максимальный углы поверхностей, которые относятся к торцовым и диаметрными ( $\pm 3$  градуса от вертикали и горизонтали соответственно).

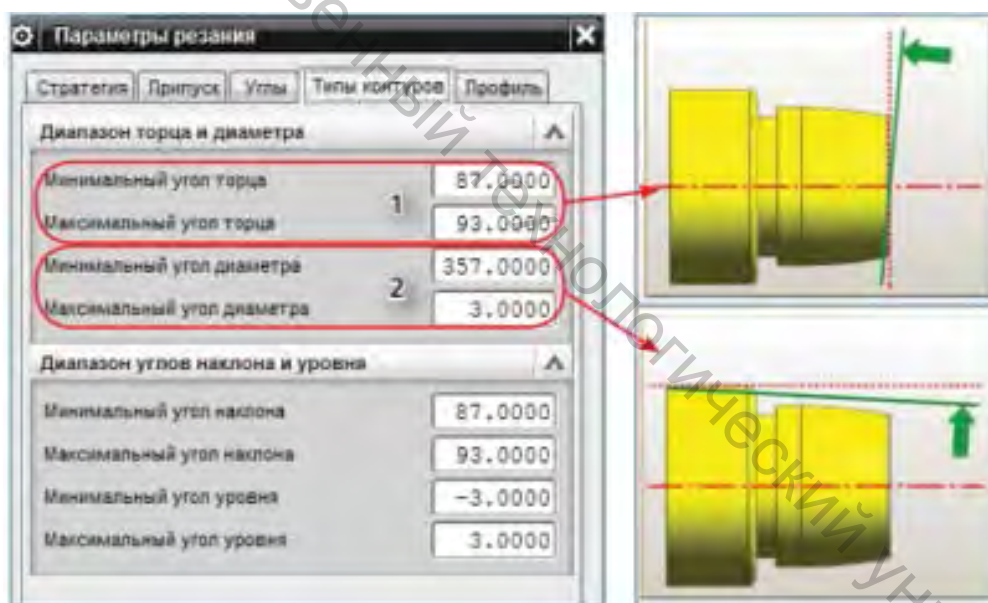


Рисунок 3.33 – Типы контуров в токарной обработке

Раскрывая во вкладке «Параметры резания» вкладку «Припуск» появляется контекстное меню, приведенное на рисунке 3.34, в котором можно задавать «Черновой припуск», «Припуск по профилю», «Припуск на заготовку». В каждой вкладке припуск может быть задан «Постоянный» (3) – одинаковый на все поверхности, отдельно – припуск на торцовую поверхность («Грань») (4) и «Радиус» (5).

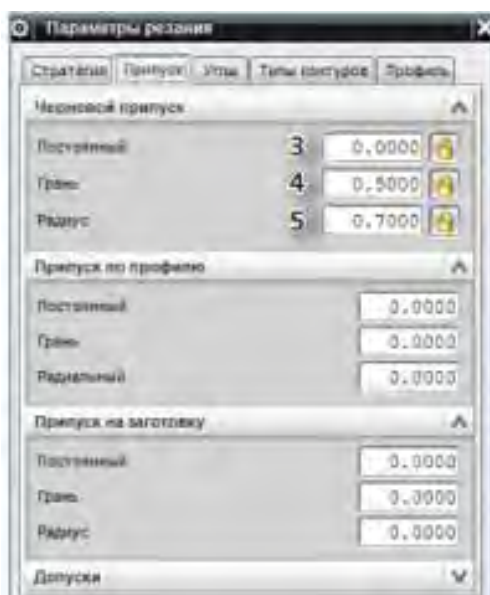


Рисунок 3.34 – Виды задаваемых припусков

Для примера на рисунке 3.35 показан фрагмент диалогового окна «Изменить элемент» для задания припуска на одну из шеек вала, обозначенную цифрами 1–2.

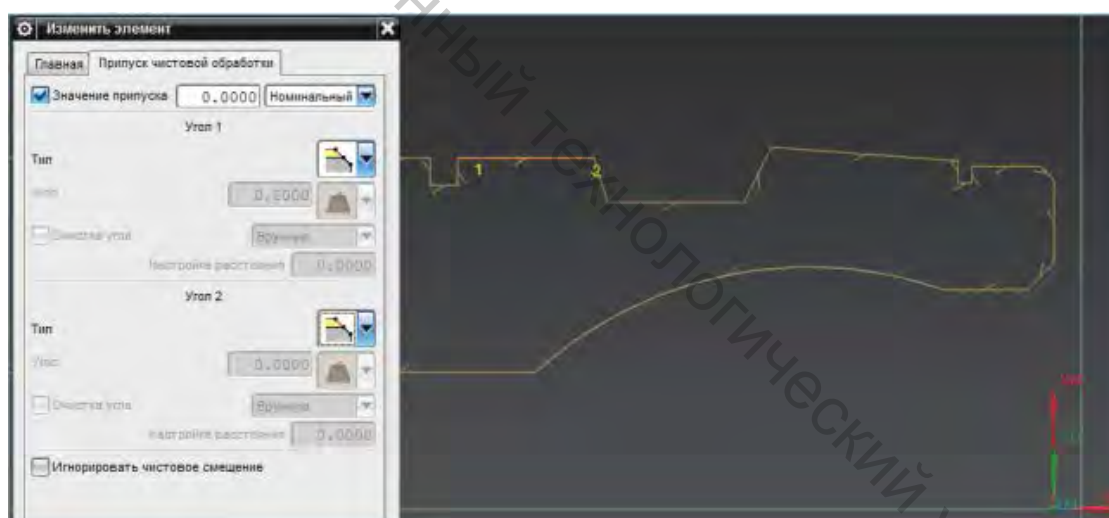


Рисунок 3.35 – Меню задания припуска на чистовую обработку ступени вала

Кроме движений, которые осуществляет режущий инструмент при резании, важно корректно выполнить его подвод к участку врезания и отход после выполнения каждого прохода.

Для этого используют вкладку «Вспомогательные перемещения» (рис. 3.36). «Врезание» и «Отвод» можно задавать для разных движений резания независимо друг от друга. САМ-система обеспечивает различные типы врезания во вкладках «Профиль» (1), «Заготовка» (2), «Деталь» (3), от плоскости безопасности – «Безопасность» (4), «Погружение» (5) и «Начальное погружение» (6).

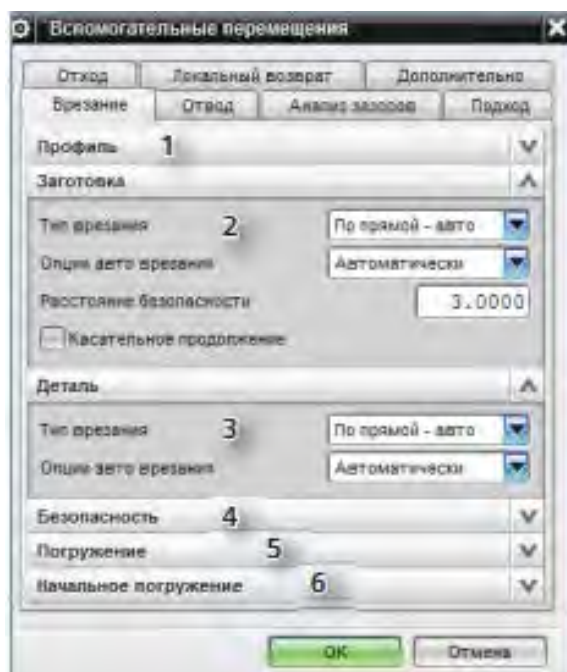


Рисунок 3.36 – Меню программирования вспомогательных перемещений при обработке

По умолчанию во всех вкладках движение выполняется «По прямой – авто», что обеспечивает при обработке выбранной заготовки приемлемый результат, показанный на рисунке 3.37, и не требует корректировки. Другие типы врезаний могут быть рассмотрены с использованием вкладки «Справка» САМ-системы, в которой они описаны с графическими иллюстрациями.

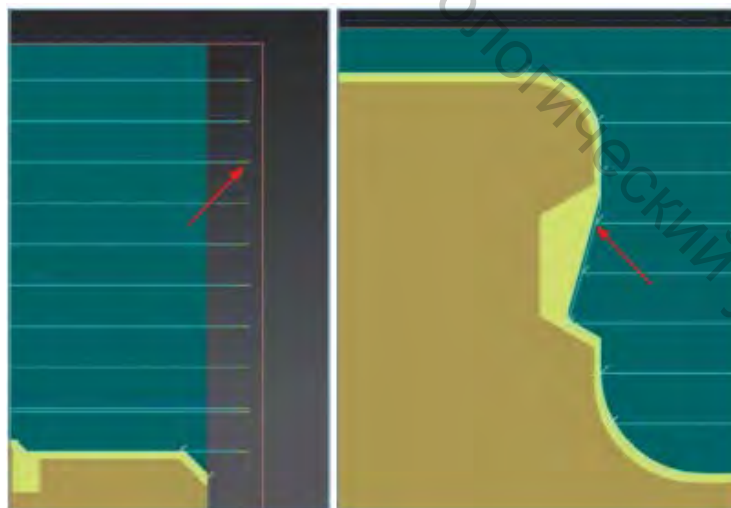


Рисунок 3.37 – Меню программирования вспомогательных перемещений при обработке

Вкладки «Подход» и «Отход» задают точки маневрирования. Вкладка «Локальный возврат» позволяет задать отвод инструмента от детали, например, для контроля износа инструмента. Такой отвод возможен «По времени» (обработки текущим инструментом), «По расстоянию» (пройденному

обрабатываемым инструментом), «По числу проходов» (выполненных обрабатываемым инструментом в процессе резания). Можно также задать позицию отхода, тип движения и присоединить событие пользователя (останов, сообщение оператору, выполнение контрольной операции и т. д.). При работе по времени или расстоянию САМ-система автоматически вставляет локальный возврат после окончания рабочего хода, чтобы не было прерывания процесса резания.

Вкладка «Дополнительно» позволяет задать параметры коррекции инструмента.

Для выполнения обработки на оптимальных режимах резания во вкладке «Управление станком» раскрывают вкладку «Скорости и подачи» и задают рекомендованные производителем режущих инструментов значения скорости резания и подачи.

Раскроется контекстное меню (рис. 3.38).

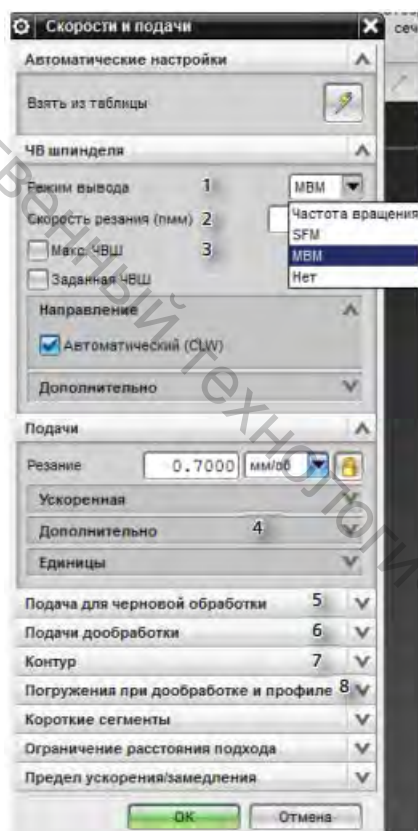


Рисунок 3.38 – Меню программирования частоты вращения шпинделя и подачи при обработке

Частота вращения (ЧВ) шпинделя может быть задана с помощью значения этой величины в раскрывающейся вкладке «Режим вывода» (1) или с помощью вкладки «Скорость резания» (2, режим вывода MBM). SFM задаёт скорость резания в футах на об. (одна из английских мер длины). При этом можно задать ограничение по максимальной частоте вращения, активировав вкладку «Макс. ЧВШ» (3).

Значение подачи при резании (вкладки «Подачи» – «Резание») по умолчанию задаётся в мм/об.

Кроме этого, может быть задана определённая величина ускоренной подачи, в раскрывающейся вкладке «Дополнительно» (4) в соответствии с раскрытыми единицами измерения может также задаваться подача при черновой обработке (5), при дообработке участка поверхности (6), при погружении в зону дообработки (8).

Отдельно можно задать пределы ускорения/замедления, что улучшает динамику работы приводов станка.

Для дальнейшей черновой обработки требуется создать ещё одну операцию. Для этого самостоятельно следует скопировать из примера операцию ROUGH\_TURN\_OD и в этой копии изменить область обработки так, чтобы получить результат, приведенный на рисунке 3.39.



Рисунок 3.39 – Черновая дообработка участка профиля операционной заготовки

Для дальнейшей обработки элементов наружного контура необходимо создать новый инструмент. При создании инструмента используют ленточную инструментальную панель. Появится диалоговое окно «Создание инструмента» (рис. 3.40).

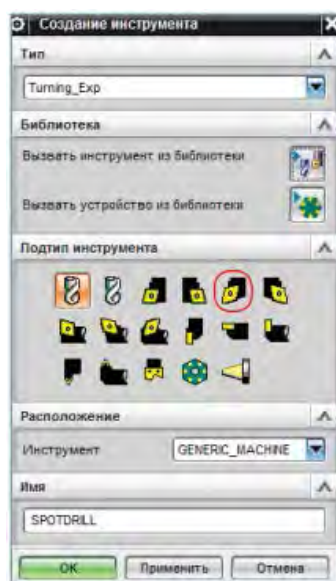


Рисунок 3.40 – Меню создания инструмента для обработки элементов контура

По умолчанию установлена вкладка «Тип» – Turning\_Exp, в которой доступен вызов инструмента из библиотеки (вкладка «Библиотека»), а во вкладке «Подтип инструмента» показаны графические изображения токарных инструментов разных типов и свёрла для осевого сверления. Вызывают вкладку создания токарного инструмента (обведен красным квадратом). Появится новое диалоговое окно – «Резец токарный» (рис. 3.41).

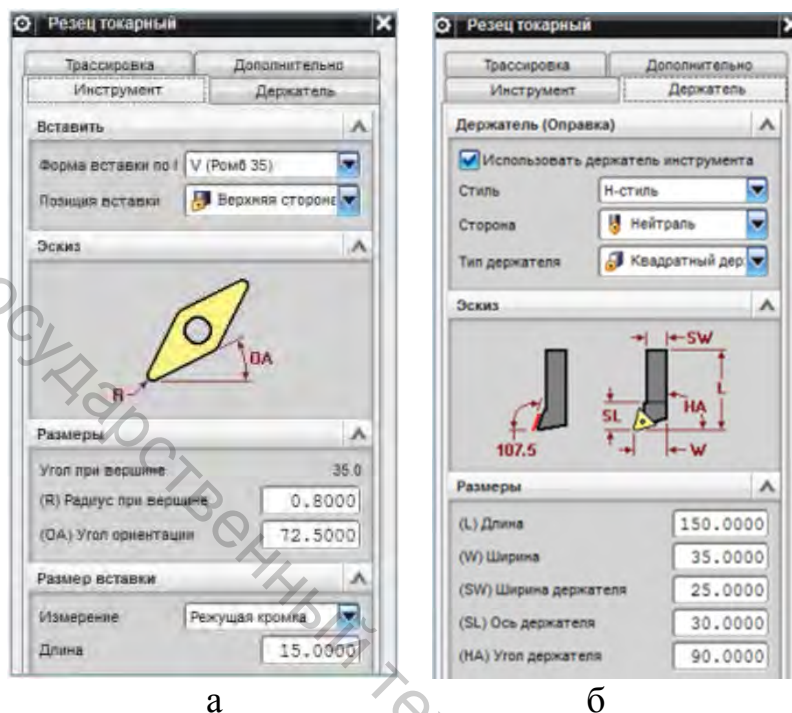


Рисунок 3.41 – Вкладки создания токарного резца для обработки элементов контура:

а – режущая пластина; б – державка инструмента

Раскрывают вкладку «Инструмент», в которой задают форму и размеры пластины, переходят во вкладку «Держатель (Оправка)», в которой задают тип и размеры держателя (державки режущей пластины). Рекомендуется активировать вкладку «Использовать держатель инструмента», который важен для контроля столкновений с элементами станка и приспособлений. Размеры держателя должны соответствовать размерам резцовых блоков, которыми оснащают револьверную головку выбранного токарного станка.

Вкладка «Трассировка» позволяет выбрать точку на режущей пластине, координаты которой будут выводиться в управляющей программе.

Пусть выбран резец OD\_55\_L. Корректируют геометрию пластины в соответствии с рисунком 3.41 а, геометрия держателя – в соответствии с рисунком 3.41 б.

Пусть точка трассировки соответствует середине радиуса при вершине режущей кромки – P8 (рис. 3.42). Таким способом создан симметричный резец, который может обеспечить обработку ряда канавок по наружному контуру заготовки. Резец переименовывают в OD\_35\_RL.

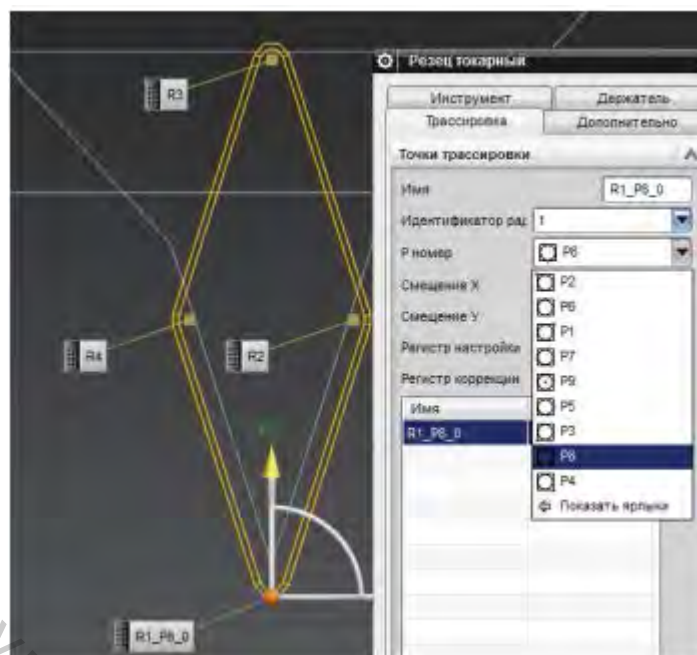


Рисунок 3.42 – Вкладка «Трассировка» и выбор точки трассировки

Пусть необходимо составить управляющую программу обработки первой от правого торца канавки с уклонами боковых стенок ранее созданной операцией, проходы в которой выполняются слева направо.

Для этого создают новый переход черновой токарной обработки, используя инструмент OD\_35\_RL, геометрию из вкладки CONTAINMENT, метод – LATHE\_FINISH (без припуска), располагая программу во вкладке 1234.

Ранее при обработке программировалось движение справа налево. Для движения слева направо следует задать «Угол от ХС» равным 0, или установить во вкладке «Направление» значение «Реверс» (рис. 3.43). Остальные вкладки оставляют без изменений и генерируют операцию (рис. 3.44).

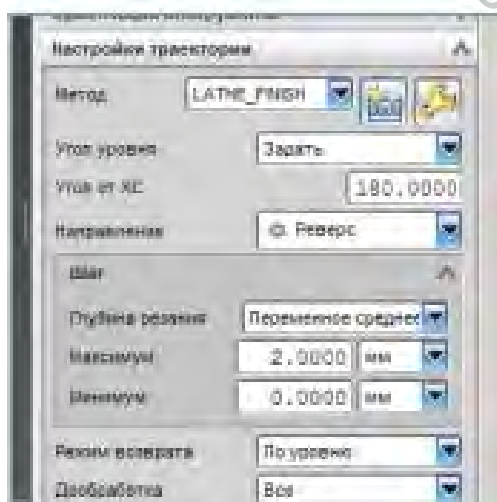


Рисунок 3.43 – Настройка траектории обработки канавки

Движение в исходную точку после окончательного прохода (белая линия справа) вызывает подрезание стенки на ускоренной подаче.

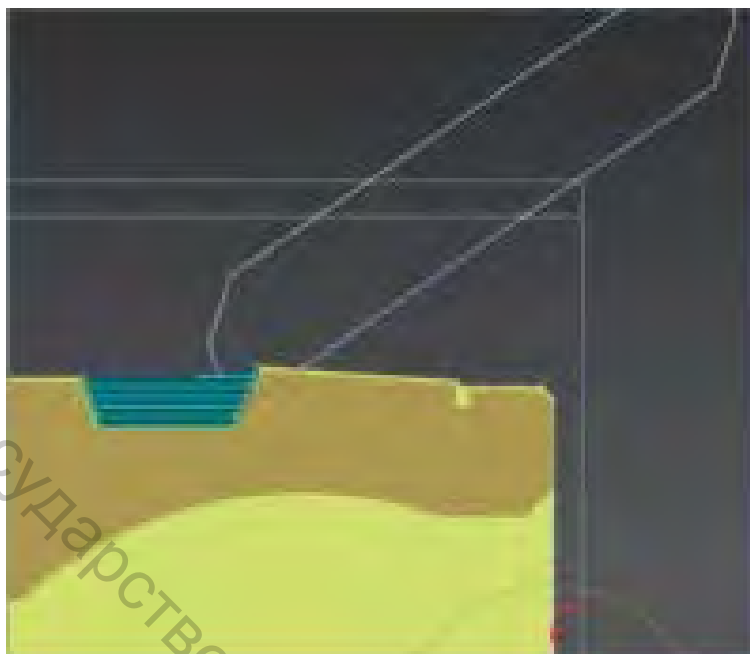


Рисунок 3.44 – Траектория обработки канавки

Для устранения коллизии следует изменить направление отхода в соответствии с рисунком 3.45 и снова сгенерировать операцию.

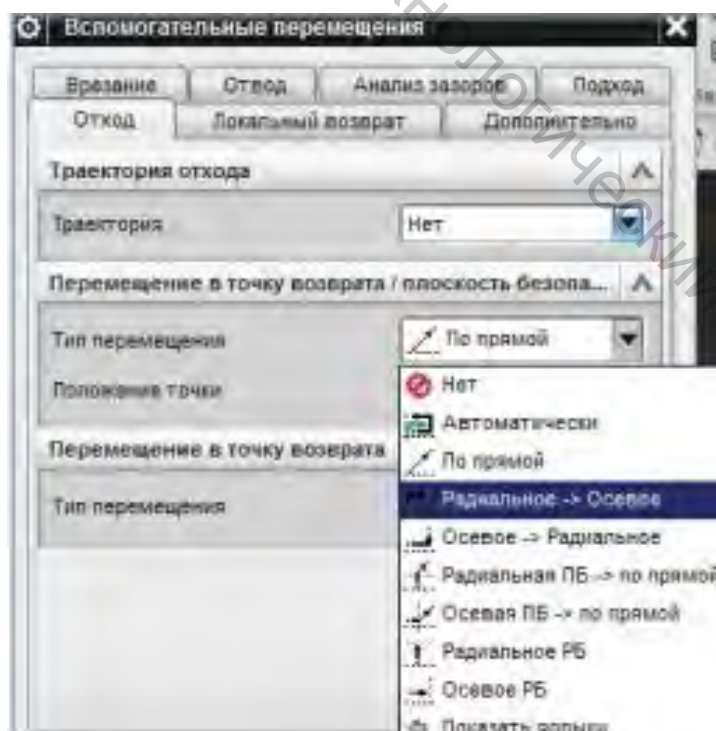


Рисунок 3.45 – Вкладка изменения направления отхода после обработки

Это позволит получить корректный результат (рис. 3.46).

Следует обратить внимание на то, что траектория движения центра радиуса при вершине режущего инструмента формирует профиль канавки за счёт боковых поверхностей режущих кромок и вершины резца (рис. 3.47).



Рисунок 3.46 – Корректная траектория отхода инструмента после обработки

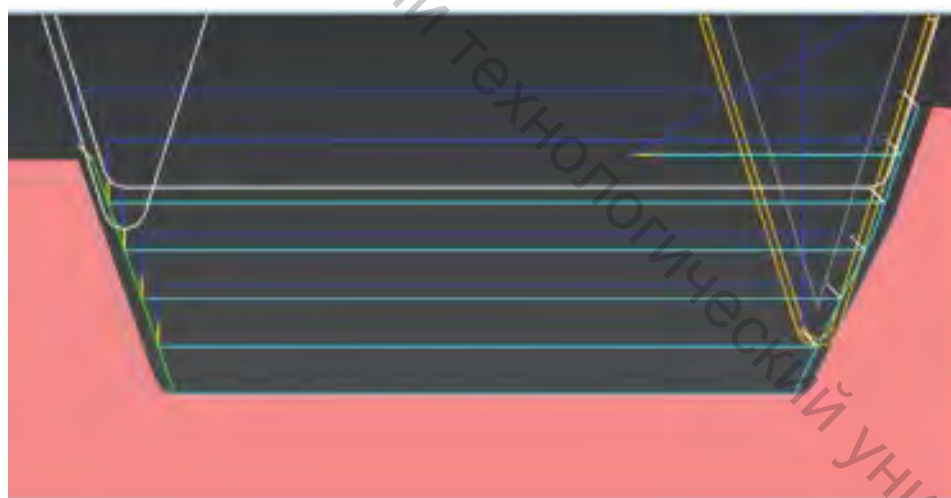


Рисунок 3.47 – Формирование профиля канавки при обработке

Удаление большей части припуска позволяет выполнить чистовое наружное точение.

Для программирования следует создать операцию чистовой токарной обработки, применив инструмент OD\_55\_L, использовать геометрию из вкладки CONTAINMENT, метод – LATHE\_FINISH, программу разместить во вкладке 1234.

Используя осевое ограничение как показано на рисунке 3.48, с помощью стратегии резания «Весь контур», получают траекторию движения инструмента при обработке участка контура.

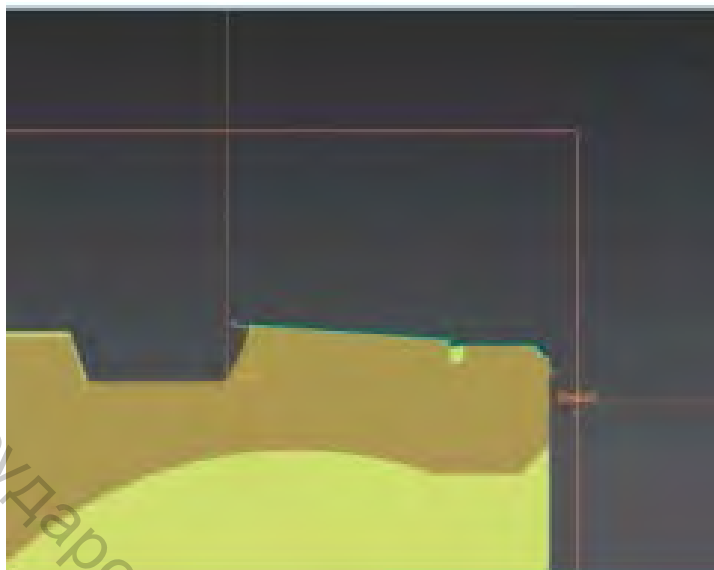


Рисунок 3.48 – Фрагмент траектории движения инструмента при чистовой обработке контура

В созданной операции можно использовать и другие стратегии обработки, если раскрыть вкладку «Стратегия» (рис. 3.49).

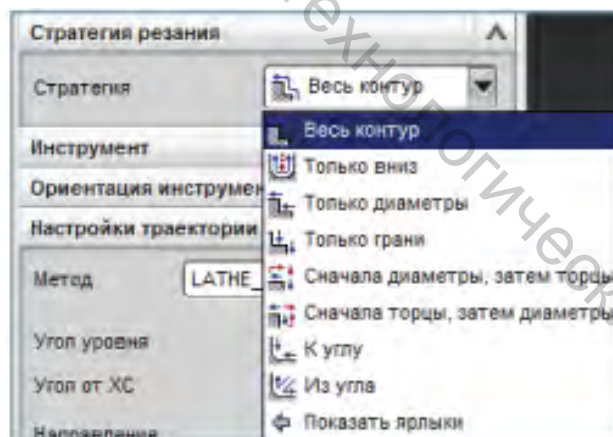


Рисунок 3.49 – Доступные варианты стратегии обработки при чистовой обработке контура

Можно запрограммировать обработку только диаметров или только граней (торцов), выбрать порядок обхода этих элементов, работать только на погружение при обработке и т. д.

В некоторых случаях обработку выполняют с коррекцией инструмента. Для использования этой стратегии раскрывают вкладки «Вспомогательные перемещения» – «Дополнительно». Появится контекстное меню «Коррекция инструмента» (рис. 3.50). В ней следует выбрать вкладку «Расположение

команды коррекции». По умолчанию здесь установлена команда на выполнении обработки с коррекцией на конечном чистовом проходе («Конечный чистовой»). Кроме этого, необходимо активировать вкладку «Вывод данных контакта/трассировки».

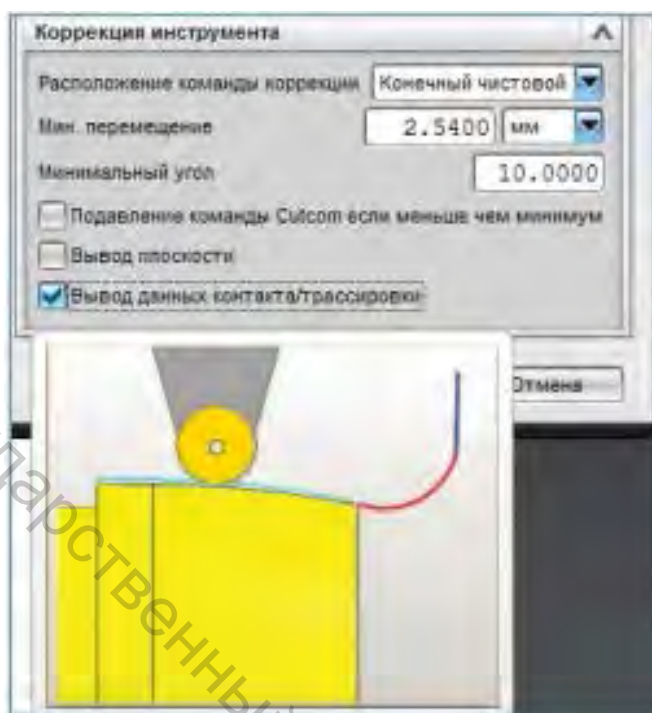


Рисунок 3.50 – Настройка параметров чистовой обработки контура с коррекцией

Затем генерируют траекторию движения инструмента при обработке и получают результат, показанный на рисунке 3.51.

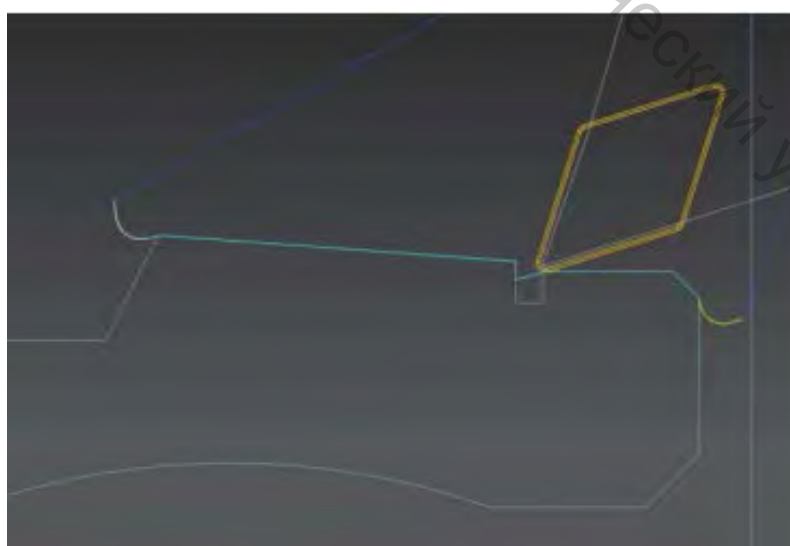


Рисунок 3.51 – Траектория движения инструмента при чистовой обработке контура с коррекцией

В этом случае траектория движения инструмента совпадает с обрабатываемым контуром.

Кроме работы с коррекцией целесообразно рассмотреть ещё одну стратегию токарной обработки – скругление углов контура. Скругления в местах переходов поверхностей обычно выполняют для элементов, которые участвуют в образовании сопряжений двух и более деталей, поскольку острые кромки затрудняют сборку. Такую стратегию задают, последовательно раскрывая вкладки «Параметры резания» – «Углы» – «Форма траектории в углах» – «Нормальные углы», выбрав вкладку «Скругление» (рис. 3.52).

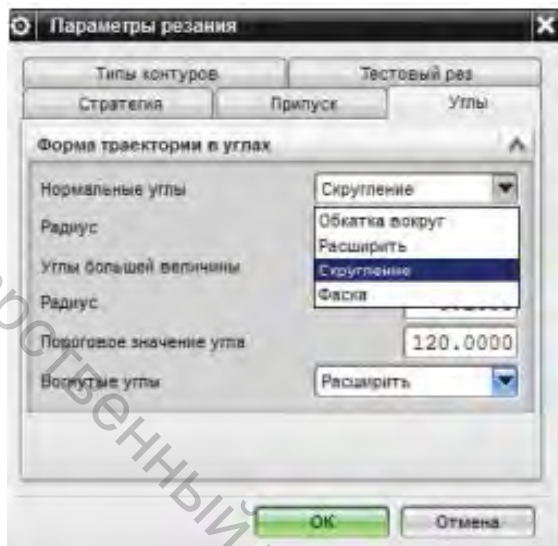


Рисунок 3.52 – Создание скруглений в местах переходов элементов контура при чистовой обработке контура

Сгенерировав траекторию, получают результат, показанный на рисунке 3.53. Места скруглений углов сопрягаемых элементов профиля показаны стрелками.

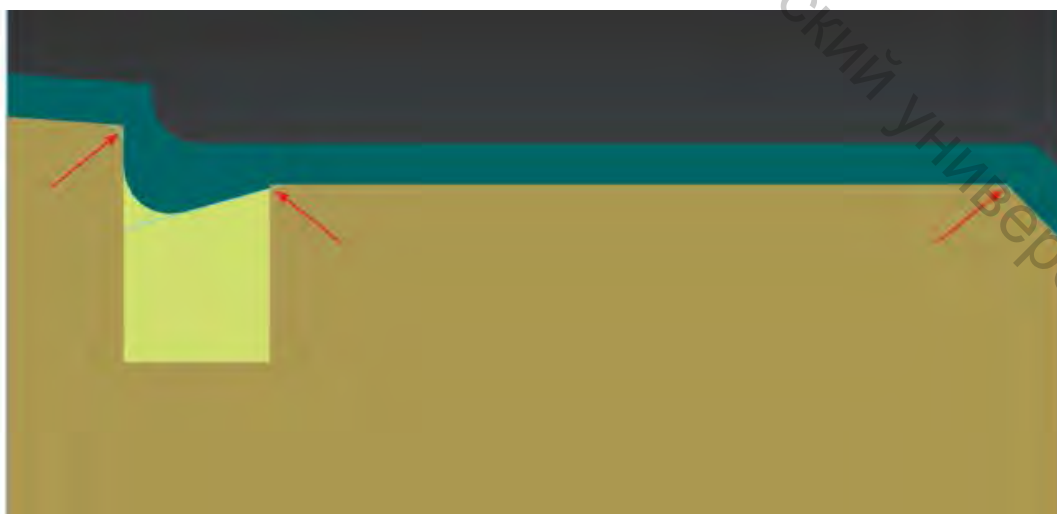


Рисунок 3.53 – Создание скруглений в местах переходов элементов контура при чистовой обработке

В соответствии с вкладкой «Форма траектории в углах» вместо скруглений можно создавать фаски. Кроме этого, две другие вкладки, «Нормальные углы» – «Обкатка вокруг» и «Вогнутые углы» – «Расширить» – задают способы формообразования углов в местах сопряжения элементов.

Наружный профиль детали включает такие геометрические элементы как канавки. Для их обработки необходимо создать новый инструмент.

Для этого раскрывают вкладки «Создание инструмента» – «Подтип» (см. рис. 3.40), в последней из которых выбирают «Резец токарный канавочный» для обработки наружных канавок – OD\_GROOVE\_L, геометрия и размеры пластины которого задают как на рисунке 3.54 а, а державки для него – в соответствии с рисунком 3.54 б.

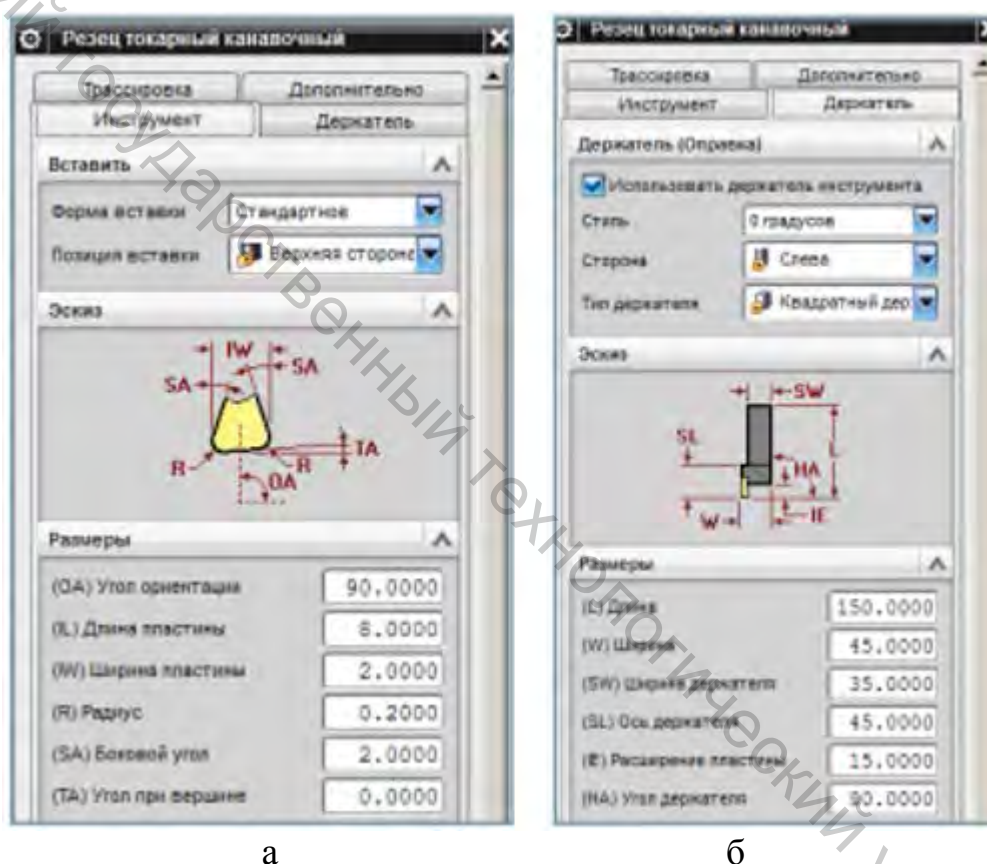


Рисунок 3.54 – Создание инструмента для обработки наружных канавок:  
а – меню геометрии пластины; б – меню выбора державки

При программировании обработки канавок следует указать точки на режущих кромках пластины, которые будут использованы для создания траектории движения (трассировки инструмента).

Для канавочных резцов могут быть заданы две точки трассировки (рис. 3.55), которые привязаны к серединам радиусов в местах переходов главной режущей кромки и двух вспомогательных. Эти точки в созданной операции можно изменить.

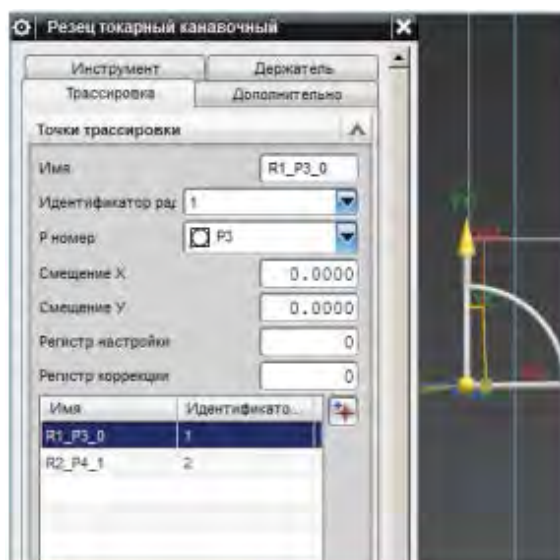


Рисунок 3.55 – Вкладка для задания точек трассировки

В операции обработки канавок для некоторых стратегий возможна автоматическая смена этих точек при обработке боковых стенок.

Создают операцию обработки наружной канавки, используя вкладку «Наружная проточка» (обработка наружной канавки). Появится диалоговое окно (рис. 3.56), параметры настройки траектории при обработке развёрнуты в правой части рисунка во вкладке «Настройка траектории».

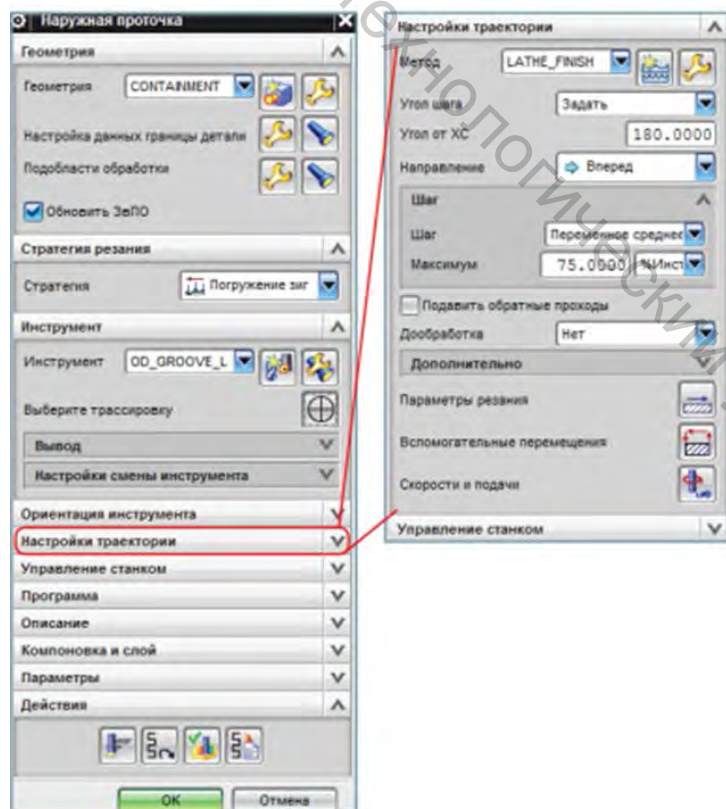


Рисунок 3.56 – Вкладка программирования обработки наружной канавки

При создании токарных операций следует учитывать, что движение в начальную точку в текущей операции производится из конечной точки предыдущего перехода обработки в данном установе.

Для задания перемещения в исходную точку при обработке канавки используют вкладки «Вспомогательные перемещения» – «Подход», в которой уже задана (или следует задать) «Исходная точка» (1), и назначают «Перемещение в начальную точку» – «Задание точки» (2, рис. 3.57). В графической части САМ-системы положение точек показано на рисунке 3.58. На этом же рисунке показано также осевое ограничение подобласти обработки (вертикальная линия по левому торцу канавки).

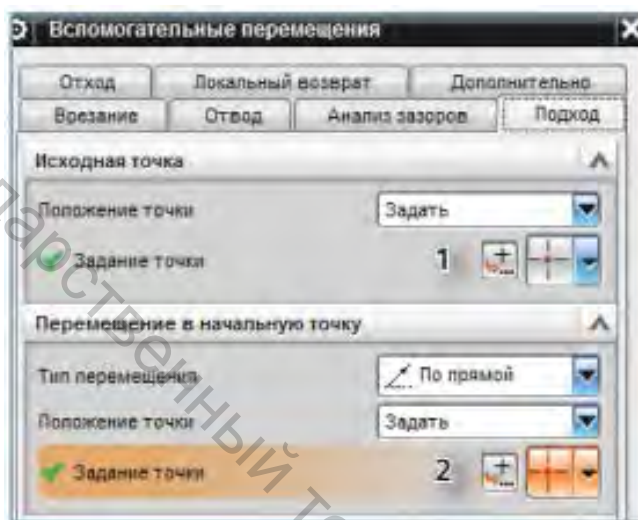


Рисунок 3.57 – Вкладка программирования положения исходной и начальной точек при обработке канавки

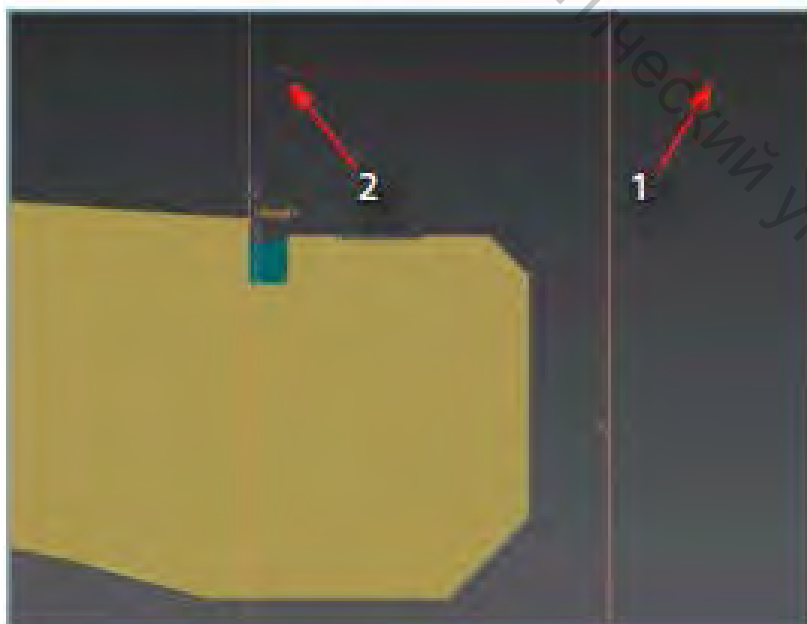
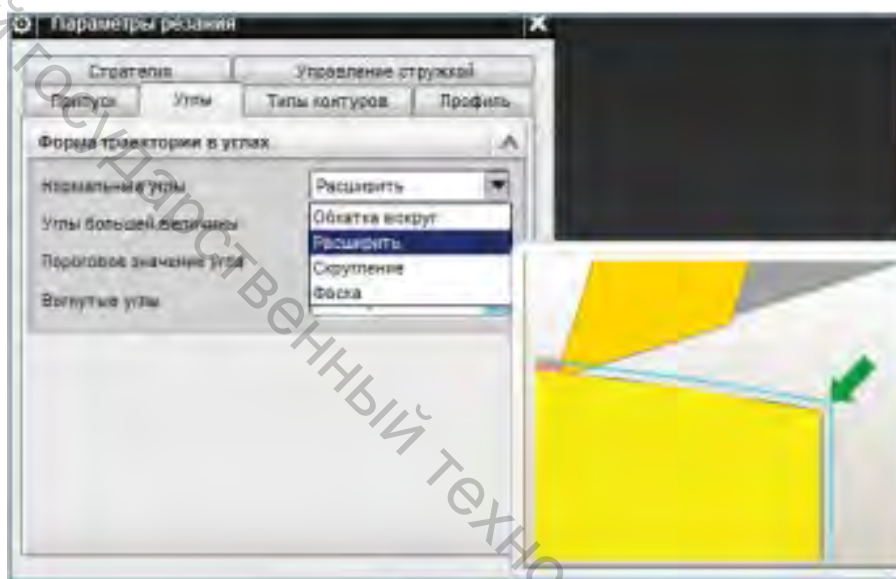


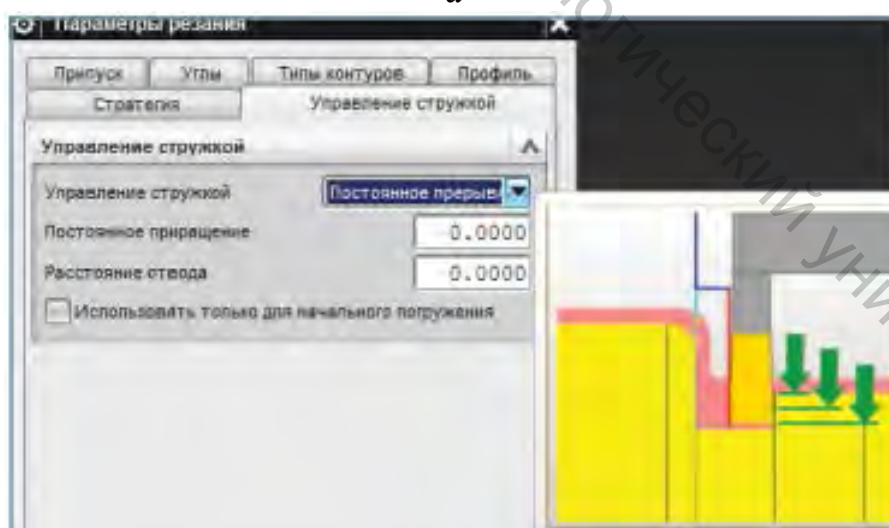
Рисунок 3.58 – Графическая часть САМ с точками и осевым ограничением подобласти обработки наружной канавки

Затем генерируют операцию и получают результат, показанный на рисунке 3.58.

При создании операций обработки канавок имеются различные вкладки, обеспечивающие возможность обработки углов, скруглений, фасок и т. д., по управлению стружколоманием и др. (рис. 3.59 а, б). Они расположены в диалоговом меню «Параметры резания». Графические изображения поясняют назначение различных вкладок. Так, использование вкладки «Форма траектории в углах» – «Расширить», позволяет выполнить обработку с сохранением угла перехода от торца к конусному участку. Вкладка «Управление стружкой» обеспечивает задание прерывистого движения при точении канавки, что гарантирует стружколомание.



а



б

Рисунок 3.59 – Управление инструментом при обработке углов заготовки и процессом стружколомания при точении канавок:  
а – формирование траектории при обработке углов;  
б – управление стружколоманием

После операции точения канавки можно оценить состояние заготовки. Для этого в контекстном меню операции GROOVE\_OD раскрывают вкладки «Заготовка» – «Показать 3D с вырезом» («Вращение 3D») и включить режим отображения «Закраска с рёбрами».

Затем на концевой ступени заготовки требуется выполнить формообразование резьбы. Создают операцию нарезания наружной резьбы THREAD\_OD.

Диалоговое окно операции «Наружная резьба» показано на рисунке 3.60 а, часть вкладок, задающих обработку задают во вкладке «Параметры резания» – «Стратегия» – «Дополнит. проходы» (рис. 3.60 б).

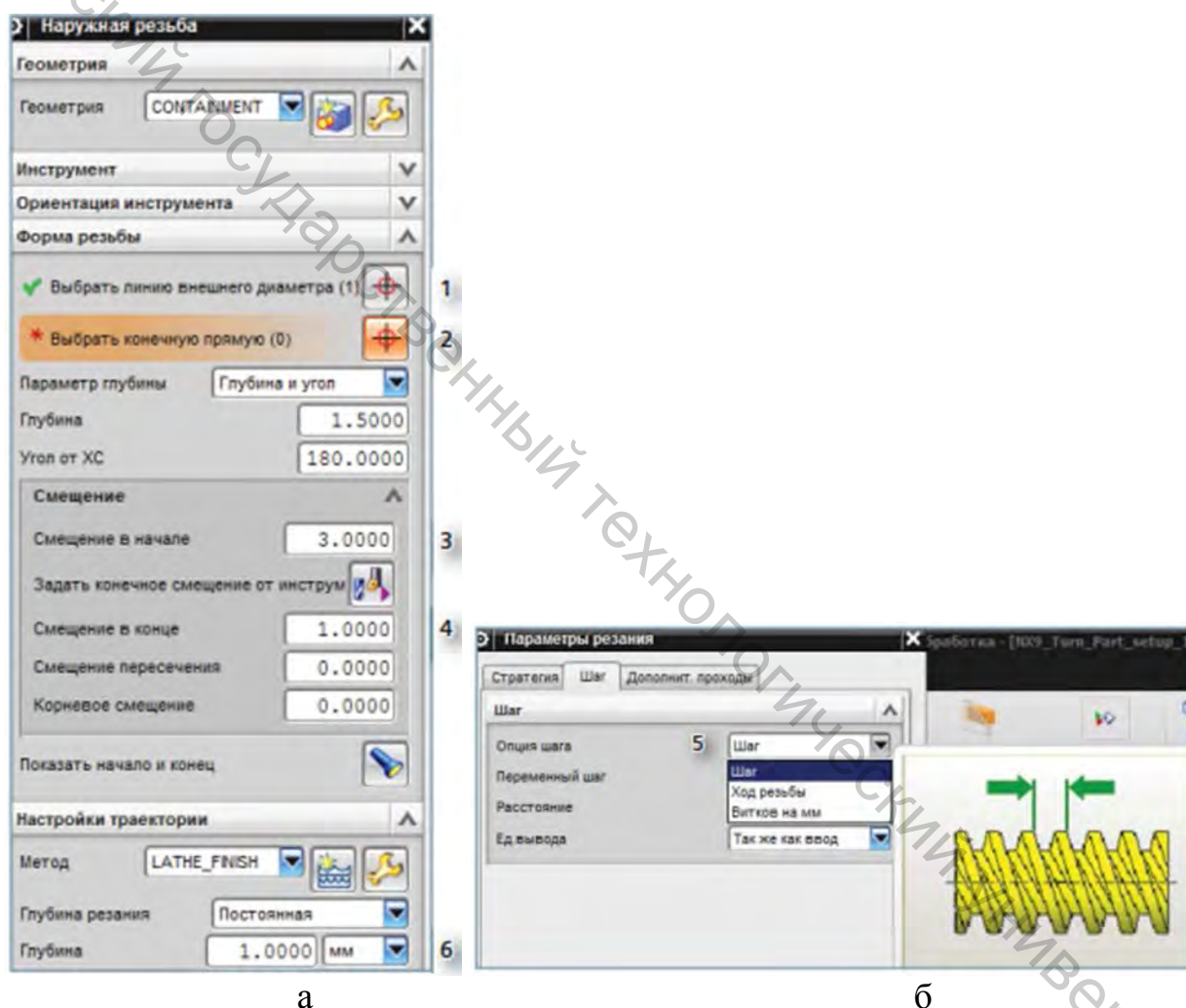


Рисунок 3.60 – Назначение параметров при нарезании наружной резьбы:  
а – вид вкладки контекстного меню; б – назначение шага резьбы

Результат операции дан на рисунке 3.61, этот же рисунок используется для некоторых пояснений. При задании параметров во вкладке «Форма резьбы» указывают наружный диаметр ступени, от которого начинают нарезание винтовой линии профиля резьбы («Выбрать линию внешнего диаметра» – 1), выбирают прямую, до которой должна проводиться обработка («Выбрать конечную прямую» – 2), в зависимости от глубины профиля резьбы задают

общую глубину резания («Глубина») и направление резания («Угол от ХС»). Во вкладке «Смещение» задают величину фаски (3 мм), обработанной на правом торце заготовки, чтобы обеспечивались нормальные условия резания при многопроходной обработке, т. к. за один проход нарезать резьбу практически невозможно. Для этого используют вкладку «Смещение в начале» (аналог врезания в отечественной технической литературе по резанию) – 3. Вкладка «Смещение в конце» – 4 или перебег – 1 мм определяет величину выхода резца за пределы зоны обработки для его безопасного отвода к новому проходу.

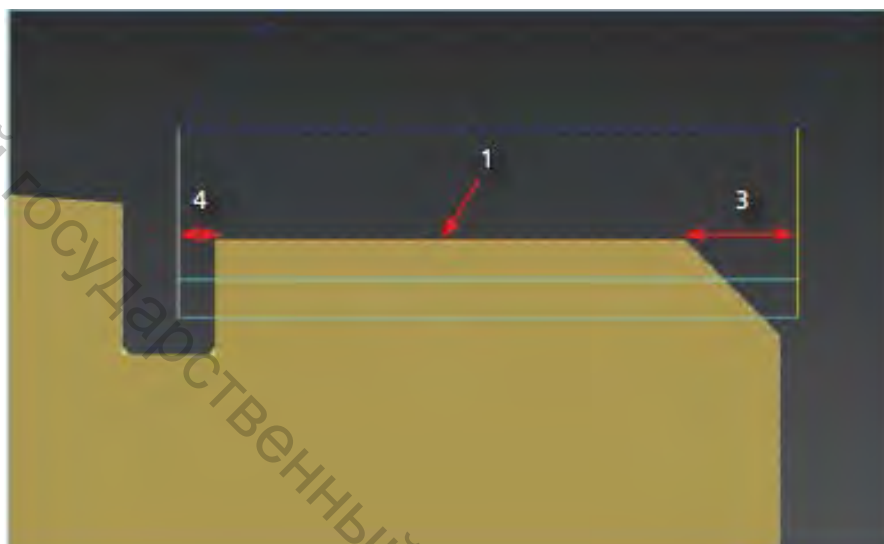


Рисунок 3.61 – Траектория инструмента при нарезании резьбы и параметры, задаваемые при резании

Способ формообразования резьбы определяется во вкладках «Параметры резания» – «Шаг» – «Опция шага» (5). Можно задавать нарезание винтовой линии по её шагу («Шаг»), который представляет собой расстояние между одноименными точками профиля винтовой линии за один её оборот. Используется также вариант в виде вкладки «Ход резьбы», который целесообразно использовать при обработке многозаходной резьбы. Вкладка «Витков на мм» применяется при нарезании дюймовой резьбы.

Глубина резания за проход задаётся во вкладке «Настройка траектории» – «Глубина» – 1 мм. Она может быть задана и другими способами.

Нарезание резьбы выполняют резьбовым резцом, который необходимо выбрать во вкладке «Создать инструмент».

В этой вкладке выбирают «Резец токарный резьбовой» (тип OD\_THREAD\_L, раскрыв которую во вкладке «Инструмент» получают доступ к эскизу резьбовой пластины («Эскиз») и её размерам («Размеры»), которые показаны на рисунке 3.62.

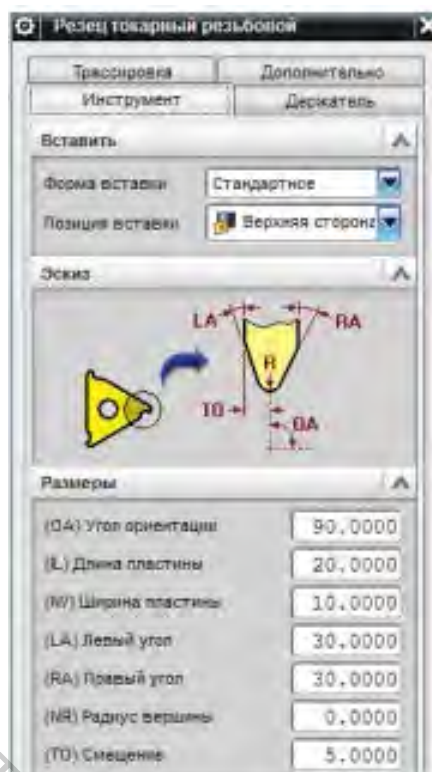


Рисунок 3.62 – Выбор геометрии и размеров режущей пластины резьбового резца

Там же выбирают размеры державки инструмента («Держатель»), выполняют привязку точки трассировки в геометрии режущей части инструмента и т. д.

После генерирования траектории движения инструмента получают результат, показанный на рисунке 3.61.

Затем переходят к обработке внутренних поверхностей. Графическое пояснение текста далее следует посмотреть в источнике [23].

Вначале выполняют сверление центрального отверстия (вкладка «Центровка» – «Осевая Центровка»). Затем создают инструмент – «Центровочное сверло» диаметром 12 мм и длиной 60 мм. В диалоговом окне операции задают начальную точку и глубину, выполняют настройку траектории, выбирают расстояние безопасности как положения инструмента в начале сверления. Геометрическая группа CONTAINMENT обеспечивает использование начальной точки и точки возврата, заданных ранее.

После этого генерируют операцию сверления центрального отверстия.

Затем выполняют сверление глухого отверстия. Создают операцию «Осевое сверление», для выполнения которой выбирают инструмент – «Сверло спиральное» диаметром 32 мм и длиной 150 мм. Для сверления задают глубину отверстия и генерируют операцию.

Затем производят программирование операций черновой и чистовой внутренней расточки (расточивания), создавая для их выполнения соответствующие режущие инструменты и задавая элементы режима резания.

На рисунке 3.63 показана сгенерированная траектория движения инструмента при выполнении чернового растачивания.

Меню вкладок для создания траекторий движения, используемых при обработке режущих инструментов, аналогичны рассмотренным выше, которые использовались при программировании наружной обработки.

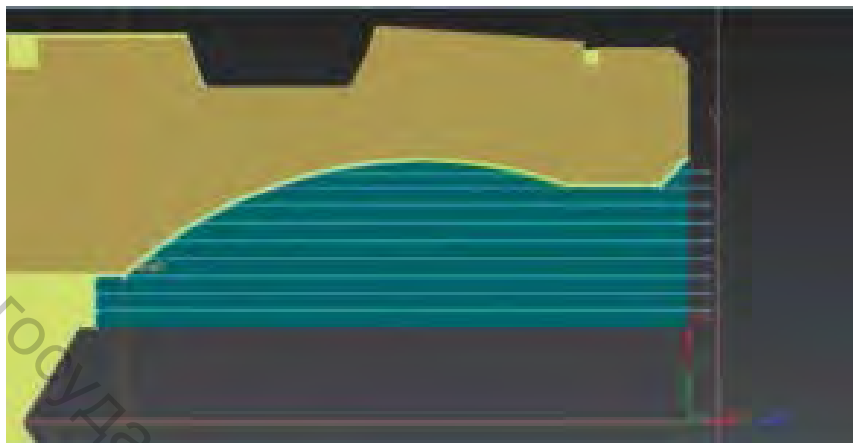


Рисунок 3.63 – Траектория инструмента при черновом внутреннем растачивании

### 3.5.3 Программирование токарно-фрезерной обработки

Выше рассмотрен вариант программирования обработки детали типа тела вращения, основными геометрическими элементами которого являются поверхности вращения. Однако другие детали этого класса кроме поверхностей вращения в конструкции могут включать шпоночные пазы, шлицевые, зубчатые, винтовые поверхности, скосы и другие элементы геометрии. Для обработки этих поверхностей необходимо использовать различные способы фрезерования, зубофрезерования, сверления и другие методы. Это приводит к необходимости переустановки деталей на другие типы оборудования, что приводит к росту непроизводительных затрат времени и в большинстве случаев – к потере точности.

Разработчики токарных станков с ЧПУ с неприводными инструментами пошли по пути расширения их технических возможностей за счёт использования приводных инструментов, расположенных в револьверной головке, для осевого или радиального фрезерования и сверления, поэтому их называют токарно-фрезерными.

Разработаны и более сложные токарно-фрезерные станки (рис. 3.64), помимо главного токарного шпинделя (1), могут иметь второй токарный шпиндель – контршпиндель (2), в них обеспечивается возможность перехвата детали для обработки её с противоположной стороны (во втором установе).

Помимо основной револьверной головки (3) станки также оснащают второй револьверной головкой, что даёт возможность параллельной работы двумя инструментами. В револьверной головке устанавливают приводные и не приводные инструменты. Некоторые станки вместо револьверной головки (или дополнительно к ней) в своей конструкции имеют поворотный фрезерный шпиндель (4). В такой шпиндель может устанавливаться как токарный, так и фрезерный инструмент, благодаря чему появляется возможность сочетать токарную и непрерывную 5-осевую фрезерную обработку на одном станке.

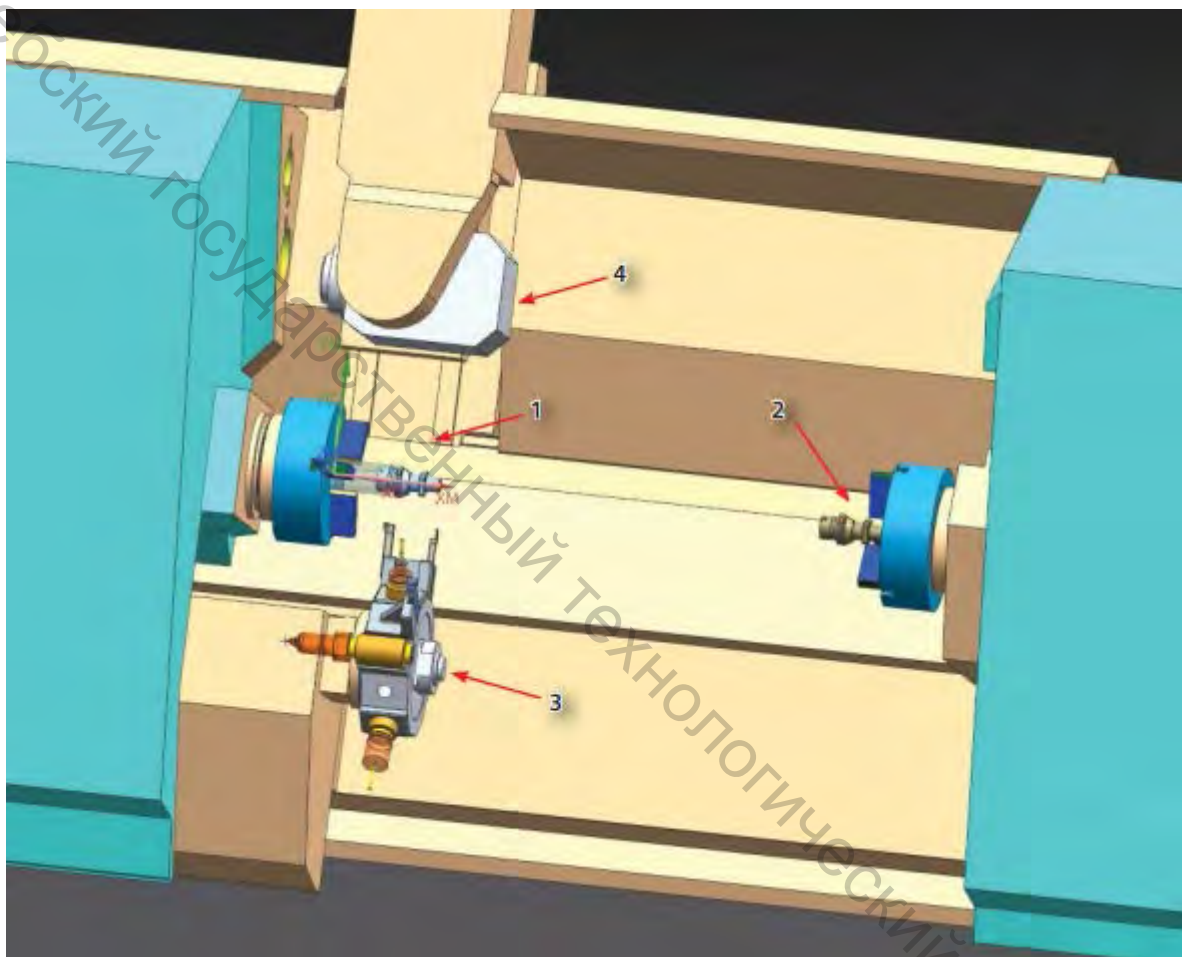


Рисунок 3.64 – Схема токарно-фрезерного станка с револьверной головкой и поворотным шпинделем:

- 1 – главный шпиндель станка; 2 – контршпиндель (противошпиндель);  
3 – револьверная головка; 4 – поворотный шпиндель

Поскольку для формообразования при обработке необходимо обеспечивать движение инструмента и заготовки более чем по двум координатным направлениям, программировать такую обработку сложнее, чем рассмотренную в подразделе 3.4.2.

Поэтому для программирования такой обработки важна правильная организация геометрических и других объектов в «Навигаторе операций» при инициализации.

Для работы с САМ-системой в этом случае можно использовать примеры, приведенные в базе знаний NX. Открывают файл NX9\_Millturn\_Part.prt. Создают новый проект, используя вкладки «Файл» – «Новый». Выбирают вкладку «Обработка» – «Шаблон» – «Токарно-фрезерная» (Express) и нажимают ОК.

В соответствии с принципом мастер-модели будет создана родительская сборка с именем по умолчанию NX9\_Millturn\_Part\_setup\_1.prt, содержащая обрабатываемую деталь как компонент, вся информация по обработке будет записываться в файл сборки.

«Навигатор операций» приобретает вид, представленный на рисунке 3.65.

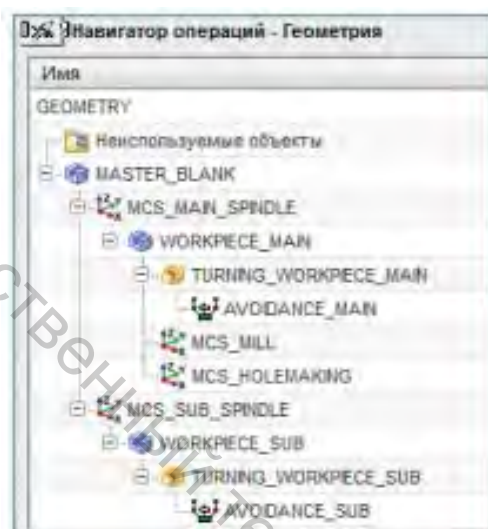


Рисунок 3.65 – Вид «Навигатора операций» во вкладке «Геометрия» при инициализации токарно-фрезерной обработки

На верхнем уровне расположена геометрическая группа MASTER\_BLANK, в которой будет задаться исходная заготовка.

Системы координат станка MSC\_MAIN\_SPINDLE и MSC\_SUB\_SPINDLE используют для задания нулевой точки и выполнения других настроек для главного шпинделя и контршпинделя.

Геометрическая группа WORKPIECE\_MAIN наследует заготовку из MASTER\_BLANK (то есть в ней заготовка не задаётся), в ней задают деталь, установленную в главный шпиндель.

В геометрической группе WORKPIECE\_SUB будет задана деталь, установленная в контршпиндель (сборка для обработки будет содержать 2 одинаковых компонента детали). В этой геометрической группе заготовка также не задаётся.

Геометрическая группа TURNING\_WORKPIECE\_MAIN будет автоматически рассчитывать токарное сечение детали и заготовки, обрабатываемой в главном шпинделе, геометрическая группа TURNING\_WORKPIECE\_SUB будет рассчитывать токарное сечение детали в контршпинделе.

Для расчёта токарной заготовки будет использоваться специальный механизм передачи ЗвПО из главного шпинделя в противошпиндель.

При программировании фрезерных операций для главного шпинделя используется система координат MCS\_MILL, которая может совпадать позиционно с MSC\_MAIN\_SPINDLE, но может содержать дополнительную информацию для постпроцессора для корректного вывода фрезерных операций. Аналогичная группа при необходимости может быть добавлена для контршпинделя.

Группы AVOIDANCE («Маневрирование») задают настройки маневрирования для каждого шпинделя.

По сравнению с токарной обработкой, выполняемой на токарных станках неприводными инструментами, при программировании обработки на токарно-фрезерных станках больше методов задаётся по умолчанию (рис. 3.66).

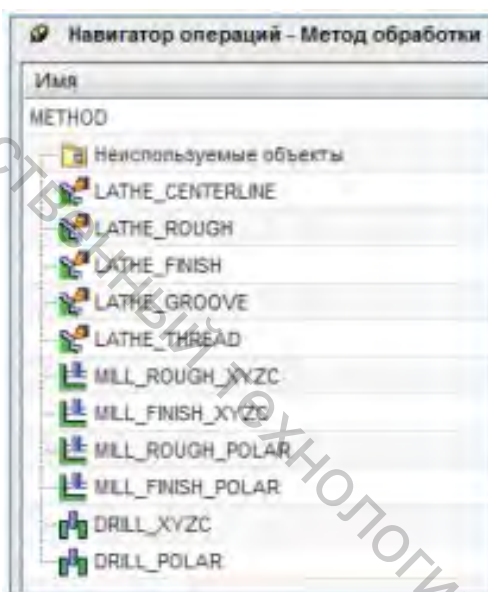


Рисунок 3.66 – Методы обработки, программируемые по умолчанию, при токарно-фрезерной обработке

Например, методы DRILL\_XYZC и DRILL\_POLAR содержат дополнительную информацию по выводу координат, один из них будет разрешать использование оси Y при программировании сверления (в направлении этой оси), другой – не разрешает такой операции.

Аналогичный подход используется и для фрезерования. Эта информация применяется постпроцессором на стадии постпроцессирования созданных программ.

Кроме этого, создаётся магазин инструментов на 12 позиций, что характерно для револьверных головок. Следует помнить, что инициализация предлагает некий настроенный шаблон. Приведенный шаблон предназначен для станка без фрезерного шпинделя. Для станка с фрезерным шпинделем такой шаблон необходимо будет добавить.

После открытия примера обработки в графической части появится изображение готовой детали.

Для программирования обработки в новом файле следует задать систему координат и выбрать геометрию. При привязке системы координат главного шпинделя к правому торцу детали устанавливают систему координат станка (MSC\_MAIN\_SPINDLE) как показано на рисунке 3.67 и в эту же точку переносят рабочую систему координат (направления осей СКС и РСК должны соответствовать друг другу).

Затем создают заготовку в виде цилиндра диаметром 127 мм и длиной 150 мм, начало которого располагают в точке Z с координатой -148 мм. Это позволит получить припуск на обрабатываемом правом торце равный 2 мм. Создают новый компонент сборки и переносят в неё вновь созданный цилиндр.

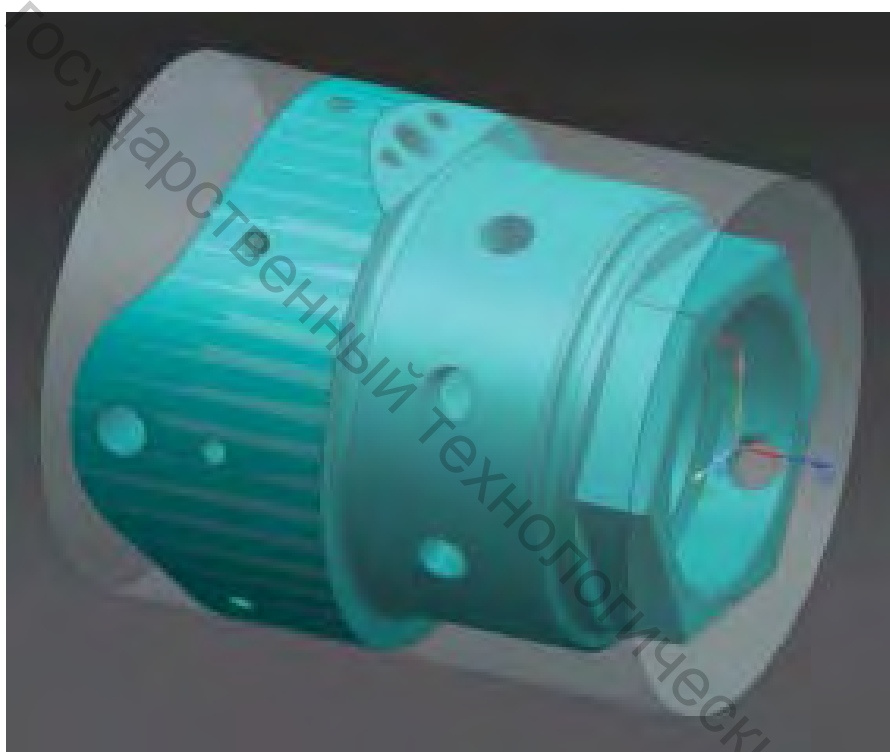


Рисунок 3.67 – Привязка СКС и РСК к детали при токарно-фрезерной обработке

Для этого раскрывают вкладку «Добавить компонент» в модуле сборки и добавляют ещё раз пример детали из базы знаний NX (NX9\_Millturn\_Part). Способ позиционирования выбирают во вкладке «Перемещение», задавая смещение 1250 мм (между шпинделем и контршпинделем). Таким способом создают деталь, которая после обработки в первом установе в главном шпинделе будет перемещена контршпинделем в его рабочую позицию для обработки во втором установе.

Навигатор сборки и его графическая часть приобретают вид как на рисунке 3.68. В левой части рисунка показан навигатор сборки, который

содержит компоненты NX9\_Millturn\_Part x 2 (2 детали) и компонент NX9\_turnmill\_blank1 (заготовка для токарно-фрезерной обработки).

Заготовку задают в геометрической группе MASTER\_BLANK, деталь, установленную в главном шпинделе – в геометрической группе WORKPIECE\_MAIN, а деталь в контршпинделе – в геометрической группе WORKPIECE\_SUB.

Систему координат MSC\_SUB\_SPINDLE привязывают к левому торцу детали, установленной в контршпинделе.

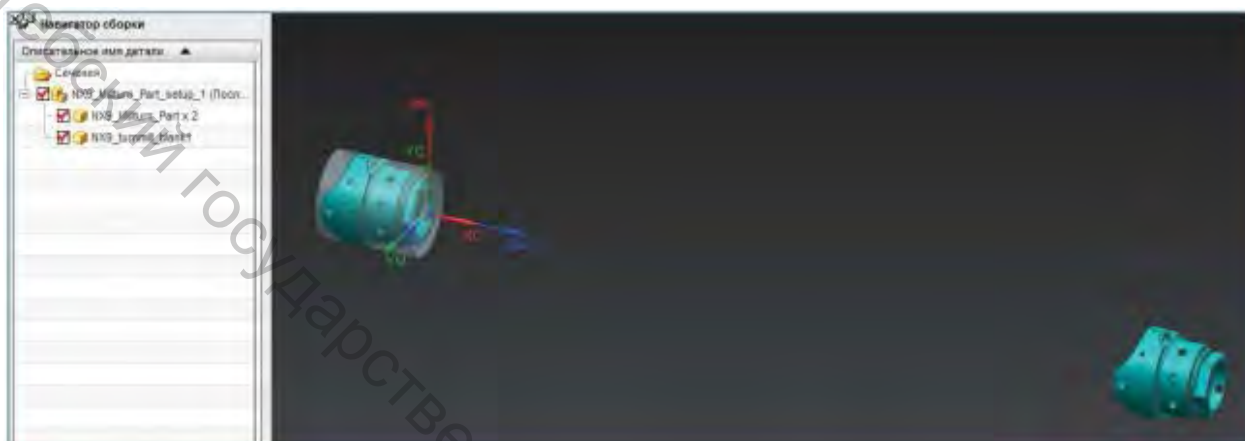


Рисунок 3.68 – Создание деталей для токарно-фрезерной обработки за два станова

Так как левый торец детали не имеет характерной точки для привязки, систему координат задают смещением от текущей позиции в главном шпинделе на 1180 миллиметров по оси ZM, подразумевая, что здесь будет торец заготовки после её передачи из главного шпинделя.

После этого выключают отображение компонентов в навигаторе сборки и выбирают геометрическую группу TURNING\_WORKPIECE\_MAIN, в которой будут отображены контуры детали и заготовки, полученные при токарной обработке.

Выполненные действия позволяют перейти к программированию токарных, фрезерных и сверлильных операций обработки в главном шпинделе.

Создание токарных операций можно выполнить самостоятельно по аналогии с приведенными в подразделе 3.4.2. Кроме этого, можно открыть пример из файла базы знаний NX NX9\_Millturn\_Part\_setup\_2.prt, где эти операции созданы и сохранены.

«Навигатор операций» после токарной обработки в главном шпинделе приобретёт вид, приведенный на рисунке 3.69, при этом в графическом окне представлено токарное сечение обработанной заготовки.

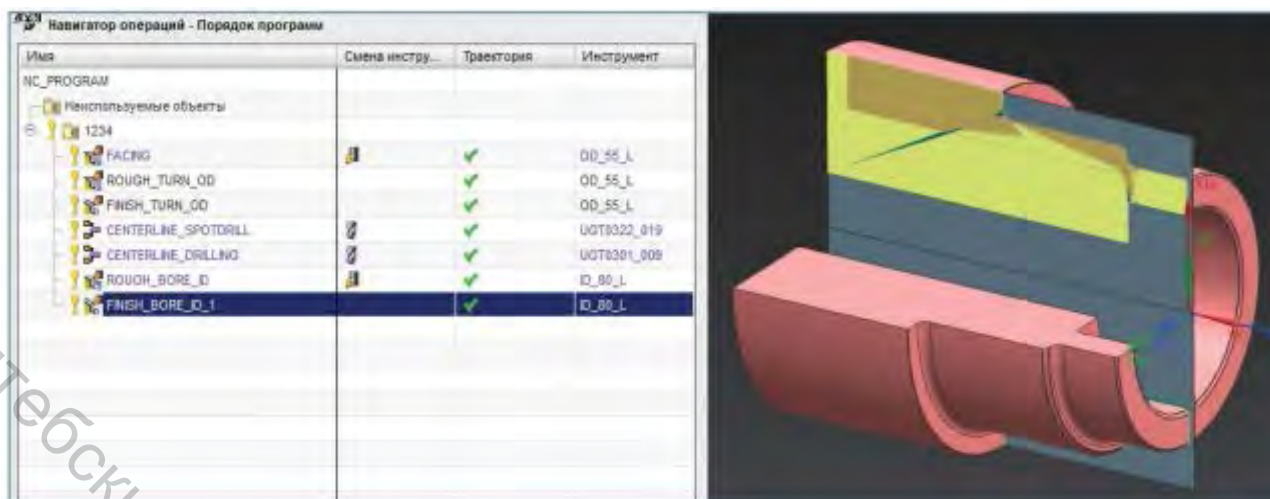


Рисунок 3.69 – Порядок программ токарной обработки заготовки в главном шпинделе и её сечение с обработанными поверхностями

После токарных операций необходимо выполнить фрезерную обработку шестигранника и наклонной грани на заготовке, закреплённой в главном шпинделе.

Контуры токарного сечения при этом лучше скрыть для наглядности фрезерной обработки. Эти действия можно выполнить, скрыв автоматически созданные объекты в «Навигаторе модели». Эти объекты находят их поочерёдным выбором.

Для обработки шестигранника могут использоваться различные операции. В примере предлагается применить операцию SOLID\_PROFILE\_3D, которая обеспечивает программирование обработки граней шестигранника боковой поверхностью фрезы, закреплённой в револьверной головке. Ось фрезы при обработке располагается параллельно оси центров токарно-фрезерного станка. Обработка каждой грани выполняется по одной и той же программе, а положение новой грани относительно режущего инструмента обеспечивается индексированным поворотом главного шпинделя относительно оси ZM (выполняется осью C). Этот поворот выполняется по программе после окончания фрезерования грани. При необходимости может использоваться многопроходный вариант такой операции.

Создают операцию SOLID\_PROFILE\_3D для обработки одной грани шестигранника, контекстное меню которой показано на рисунке 3.70.

Для обработки граней используют концевую фрезу диаметром 16 мм, которую создают во вкладку «Создать инструмент», либо выбирают из библиотеки.

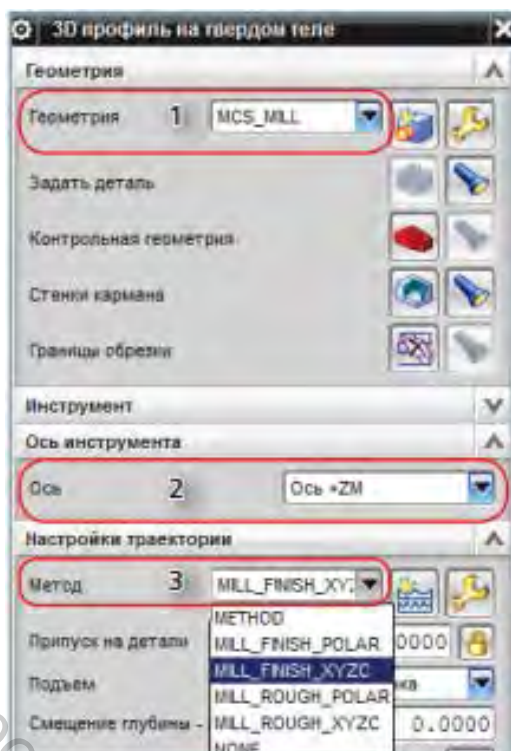


Рисунок 3.70 – Формирование программы фрезерной обработки шестигранника в главном шпинделе

Геометрия должна быть создана в MCS\_MILL (1), осью инструмента должна отображать «Ось + ZM» (2).

Фреза с ориентацией по оси Z может быть установлена не только в приводную позицию револьверной головки, но и в фрезерный шпиндель (при его наличии).

Токарно-фрезерные станки при фрезеровании могут выполнять обработку в системе координат XYZC, или к осям XZ дополнительно использовать ось Y (при наличии) с ограниченной величиной хода.

Выбор соответствующего метода обработки выполняется во вкладке «Настройка траектории» – «Метод» (3).

В качестве метода выбирают MILL\_FINISH\_XYZC и генерируют операцию. Для обработки остальных граней шестигранника создают массив операций. Операции-копии при этом сохраняют ассоциативную связь с исходной операцией. При этом можно настроить постпроцессор так, что он будет выводить массив операций в виде подпрограмм, что сократит объем управляющей программы.

Для создания массива из контекстного меню операции SOLID\_PROFILE\_3D выбирают вкладки «Объект» – «Преобразования».

Раскроется диалоговое окно (рис. 3.71).

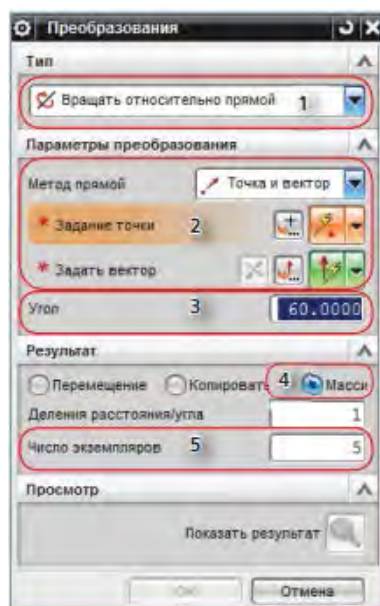


Рисунок 3.71 – Создание массива операций для фрезерования граней шестигранника в главном шпинделе

Задают тип преобразования – «Вращать относительно прямой» (1), точку на оси Z или вектор – (2), угол – 60 градусов (3), активируют признак массива (4), указывают количество копий («Число экземпляров») – 5 (5).

Операции, полученные с использованием вкладки «Преобразования», имеют специальный статус (6 на рис. 3.72).

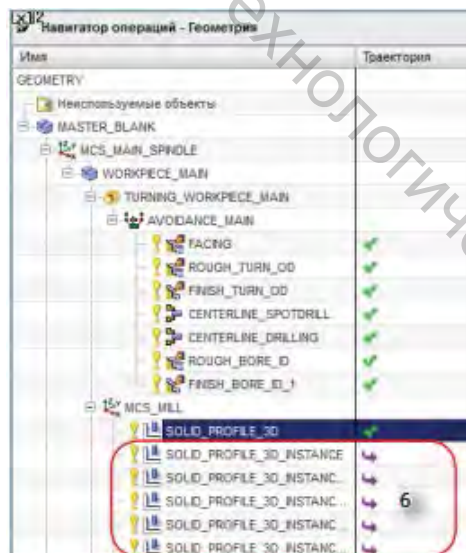


Рисунок 3.72 – Массив операций фрезерования граней шестигранника в «Навигаторе операций – Геометрия» и их статус

Фрезерование наклонной грани можно выполнить только на станке с фрезерным шпинделем, который имеет возможность управляемого поворота по оси В. Для этого создают операцию FLOOR\_WALL. Ось инструмента не указывают, поскольку по умолчанию в САМ она будет установлена перпендикулярно указанной грани (рис. 3.73).

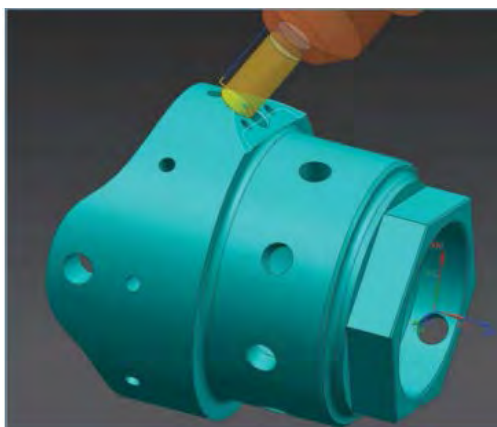


Рисунок 3.73 – Операция фрезерования наклонной грани поворотным шпинделем

Операция FLOOR\_WALL в NX может быть многопроходной, если припуск на обработку невозможно удалить за один проход.

Операции радиального сверления отверстий в стенке детали при программировании обработки на токарно-фрезерном станке рекомендуется создать самостоятельно.

Затем требуется выполнить программирование обработки в контршпинделе. Для передачи обработанной заготовки из главного шпинделя в контршпиндель используется специальный способ задания заготовки в геометрической группе TURNING\_WORKPIECE\_SUB, который называется «Из рабочего пространства».

Для этого требуется открыть вкладку TURNING\_WORKPIECE\_SUB (рис. 3.74 а).



Рисунок 3.74 – Меню создания заготовки для обработки в контршпинделе:  
а – задание границы детали и заготовки; б – передача заготовки в контршпиндель

«Границы детали» (1) рассчитываются автоматически на основе 3D-модели детали, созданной в контршпинделе. «Границы заготовки» (2) пока не заданы, так как 3D-заготовка для контршпинделя не создавалась. Требуется

выполнить её задание. Раскрывая вкладку «Границы заготовки», появится новое диалоговое окно (рис. 3.74 б).

В нём выбирают вкладку «Из рабочего пространства» (3) и активируют вкладку «Автоматическое позиционирование» (4). САМ-система автоматически рассчитывает перенос заготовки, руководствуясь старым и новым положениями компонента.

Если автоматическое позиционирование после его активизации не работает, то можно выполнить явно указание одинаковых точек на границах детали для первого и второго установов (5). Вкладка «Сменить направление» (6) используется в случае переворота заготовки на 180° при передаче её в новый установ.

Затем для операций обработки в контршпинделе создают копии инструментов OD\_55\_L и ID\_80\_L. Поскольку обработка в контршпинделе будет выполняться слева направо, держатели (державки) инструментов следует повернуть на 180°. После этого инструменты переименовывают в OD\_55\_L\_SUB и ID\_80\_L\_SUB. Следует помнить, что новые инструменты займут определённые позиции в гнёздах револьверной головки.

Для смены ориентации держателя инструмента раскрывают вкладку «Торцевание» (подрезка торца), в которой используют вкладки «Повернуть инструмент относительно держателя» и «Переориентировать держатель инструмента» (рис. 3.75). Первый из них обычно используется при программировании обработки в контршпинделе.

Станки с поворотным фрезерным шпинделем имеют возможность программного поворота держателя неприводного инструмента в шпинделе.

Для таких станков копию инструмента можно не создавать, а вкладку «Повернуть инструмент относительно держателя» использовать только в тех операциях, где это требуется.

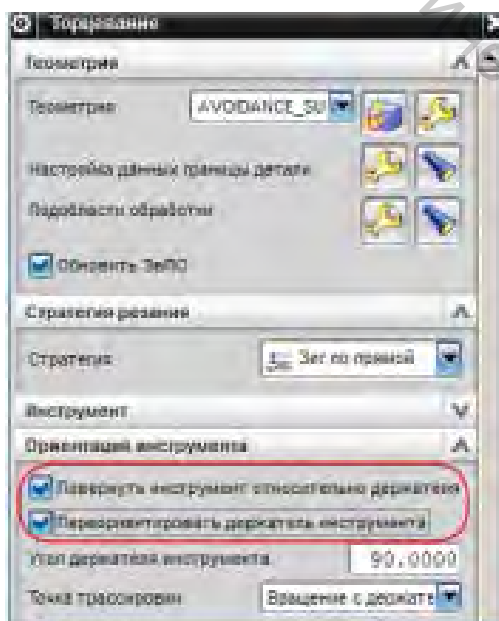


Рисунок 3.75 – Меню ориентации инструмента при обработке в контршпинделе

Затем создают операции подрезки торца (торцевания) и чернового растачивания. Для этих операций используют новую начальную и конечную точки, которые задают во вкладке AVOIDANCE\_SUB. При программировании растачивания необходимо задать угол проходов в операции чернового растачивания равным  $0^\circ$ , а не  $180^\circ$ , как при обработке в главном шпинделе, что обеспечивает проходы слева направо. Для двух операций будет получен результат, показанный на рисунках 3.76 а – б.

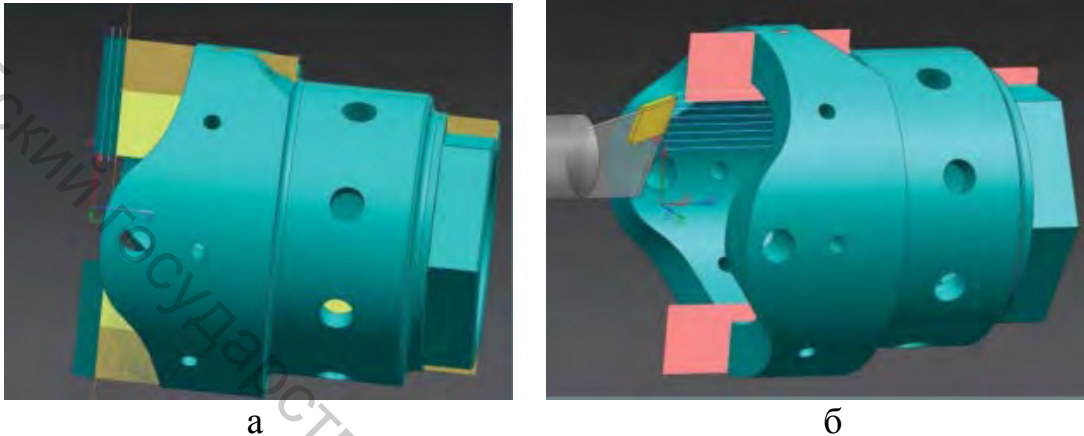


Рисунок 3.76 – Траектории инструментов при обработке в контршпинделе:  
а – при подрезке торца; б – при черновом растачивании

Для обработки фасонной поверхности фрезерованием потребуется создать систему координат MCS\_MILL\_SUB, как показано на рисунке 3.77. Ориентируют ось Z этой системы координат так, чтобы она располагалась на оси вращения детали.

Пусть новый фрезерный инструмент (концевая фреза диаметром 16 мм) установлен во фрезерный шпиндель и возможна его переориентация.

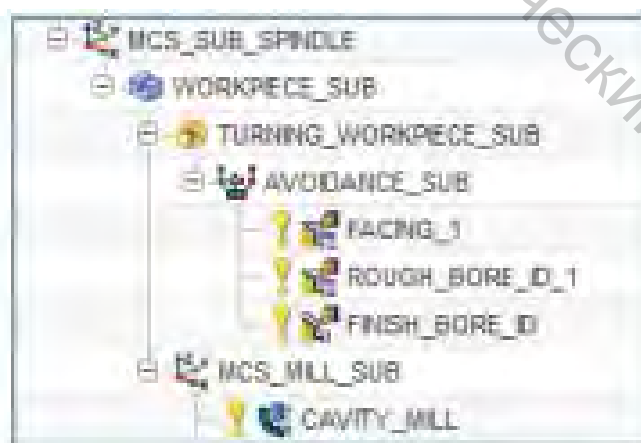


Рисунок 3.77 – Создание в «Навигаторе операций» новой системы координат для программирования фрезерования

Создают операцию чернового фрезерования CAVITY\_MILL и после генерирования получают траекторию движения инструмента, которая показана на рисунке 3.78.

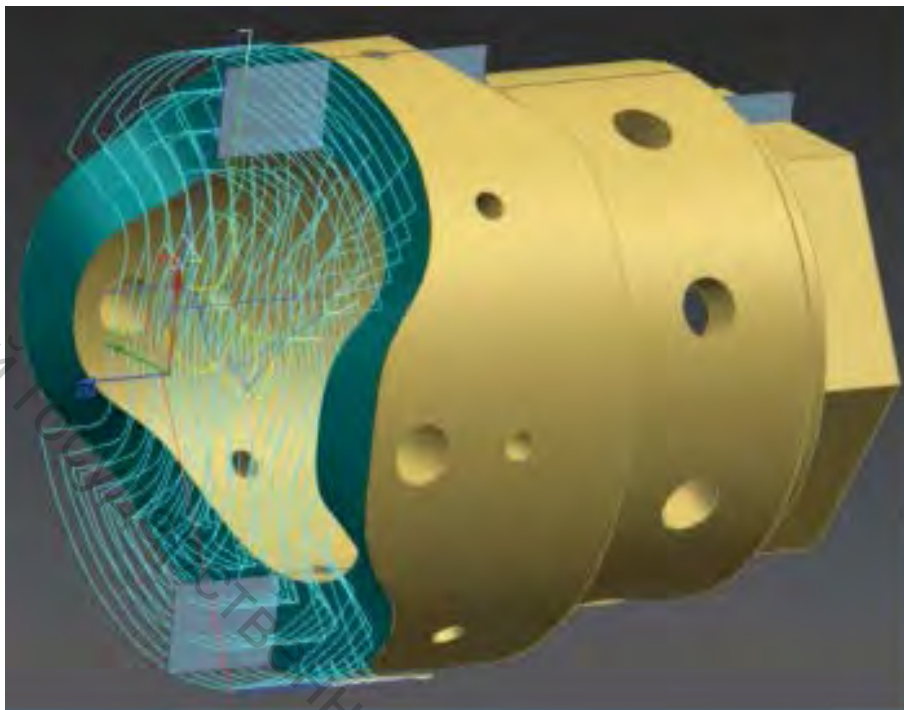


Рисунок 3.78 – Программирование черновой фрезерной обработки фасонной поверхности инструментом в поворотном шпинделе

При программировании трёх осевых фрезерных операций инструмент обычно располагается со стороны оси Z. Эта система координат будет использоваться для расчёта траектории инструмента в управляющей программе, для вывода будет использовать система координат MCS\_SUB\_SPINDLE (рис. 3.77).

Как следует из рисунка 3.78, в операции корректно распознаётся заготовка, которая была создана для обработки в протившпинделе во вкладке WORKPIECE\_SUB, которая, в свою очередь, наследуется из группы MASTER\_BLANK с учётом изменений, выполненных в WORKPIECE MAIN.

Для чистовой обработки фасонной поверхности следует использовать операцию VARIABLE\_CONTOUR, при этом фрезерование будет выполняться боковой поверхностью фрезы.

Во вкладке «Создать операцию» выбирают операцию VARIABLE\_CONTOUR, используя тот же инструмент и систему координат, как и при черновой обработке фасонной поверхности. Однако в случае наличия износа на режущей кромке следует использовать чистовой инструмент, установленный в соответствующем гнезде приводной позиции револьверной головки либо в инструментальном магазине – при выполнении обработки поворотным шпинделем. После генерирования получают результат, показанный на рисунке 3.79.

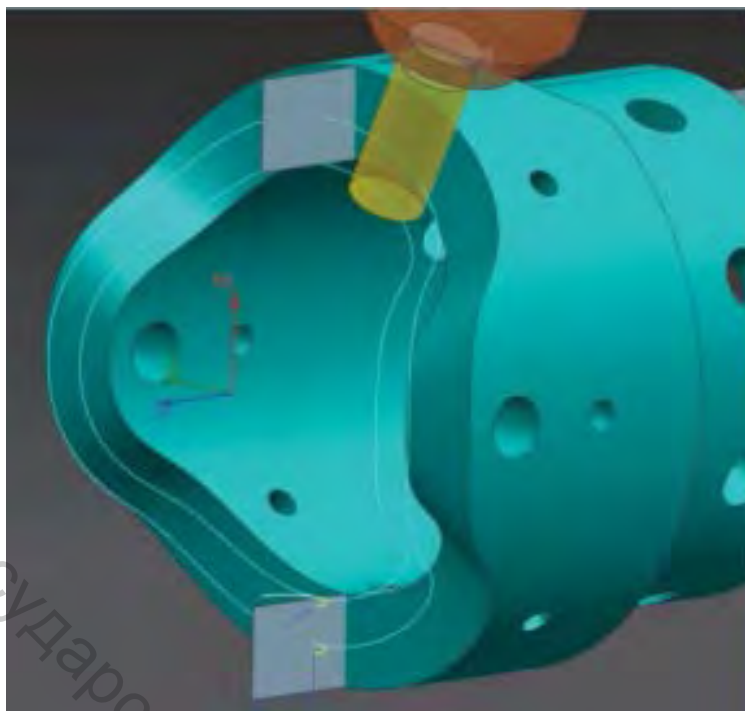


Рисунок 3.79 – Траектория инструмента при чистовой фрезерной обработке фасонной поверхности

В результате использования технически более продвинутого токарно-фрезерного станка можно выполнить полную обработку заготовки за два установка на одном станке. Этот вариант увеличивает точность и качество обработки, а также повышает производительность металлообрабатывающего участка машиностроительного предприятия.

#### 3.5.4 Программирование фрезерной обработки

Как и при программировании обработки на токарных и токарно-фрезерных станках при первом входе в модуль обработки при фрезеровании производится выбор окружения обработки, или инициализация. Как указывалось, выше, при инициализации ряд объектов обработки создаётся автоматически. Так как для разных видов обработки требуются разные объекты, на этой стадии уточняется вид обработки. В NX имеется несколько способов инициализации. Ниже приведен один из рекомендуемых.

Открывают конструкторскую модель детали из базы знаний NX game\_remote.prt. Для этой модели необходимо создать проект её обработки.

Выполняют действия «Файл» – «Новый», на экране появляется диалоговое окно (рис. 3.80), с помощью которого уточняют тип создаваемого объекта. В верхней части окна активируют вкладку «Обработка».

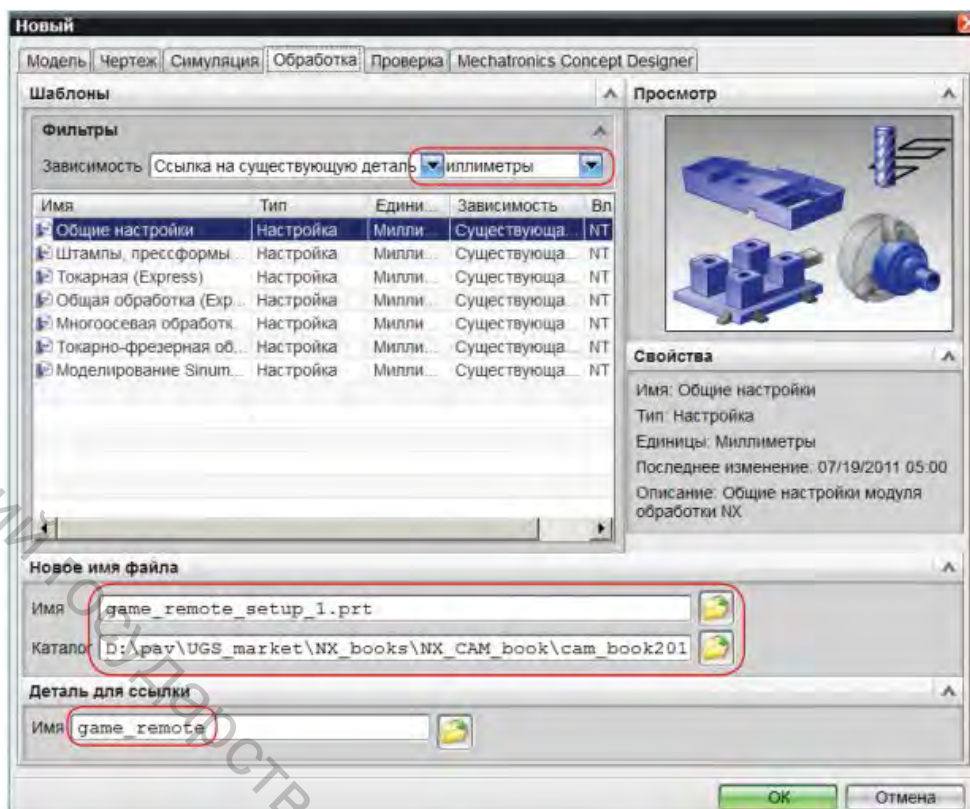


Рисунок 3.80 – Создание нового проекта фрезерной обработки детали

Вкладка «Шаблоны» содержит перечень вкладок на разные виды обработки. Шаблон – это файл модели, который содержит предварительно настроенные операции, инструменты, методы, геометрические объекты и программные группы. Он позволяет выполнить начальные установки для типовых видов работ. Шаблоны могут содержать также настройки, учитывающие специфику конкретного производства.

Наиболее универсальным является шаблон «Общие настройки».

Следует обратить внимание на некоторые поля этого диалогового окна:

- если файл обработки сохраняется в другом каталоге, то при повторном открытии необходимо будет изменить опции загрузки сборки. По умолчанию система ищет все компоненты в том же каталоге;

- задают единицы измерения в мм;

- «Новое имя файла», который будет содержать все данные, связанные с обработкой. По умолчанию имя сборки сформировано из имени детали добавлением суффикса «\_setup\_1.prt». Имя можно изменить как на этапе создания, так и в дальнейшей работе. В диалоговом окне же можно указать каталог для нового файла. По умолчанию это тот же каталог, из которого открыта исходная деталь;

- «Деталь для ссылки».

Кроме этого, в зависимости от настроек по умолчанию иногда требуется изменить ссылочный набор компонента. Если модель не видна на экране или

видны вспомогательные построения, изменяют ссылочный набор на вкладку «Модель» или «Вся деталь».

Выбирают вкладку «Общие настройки» и нажимают ОК.

В результате этого САМ-система выполнит следующие действия.

Будет создана родительская сборка, содержащая пока только обрабатываемую деталь как компонент, вся информация по обработке будет записываться в файл сборки. Затем к ней добавляют другие компоненты. Вид «Навигатора сборки» и графическая часть NX, в которой отображается деталь, показаны на рисунке 3.81.

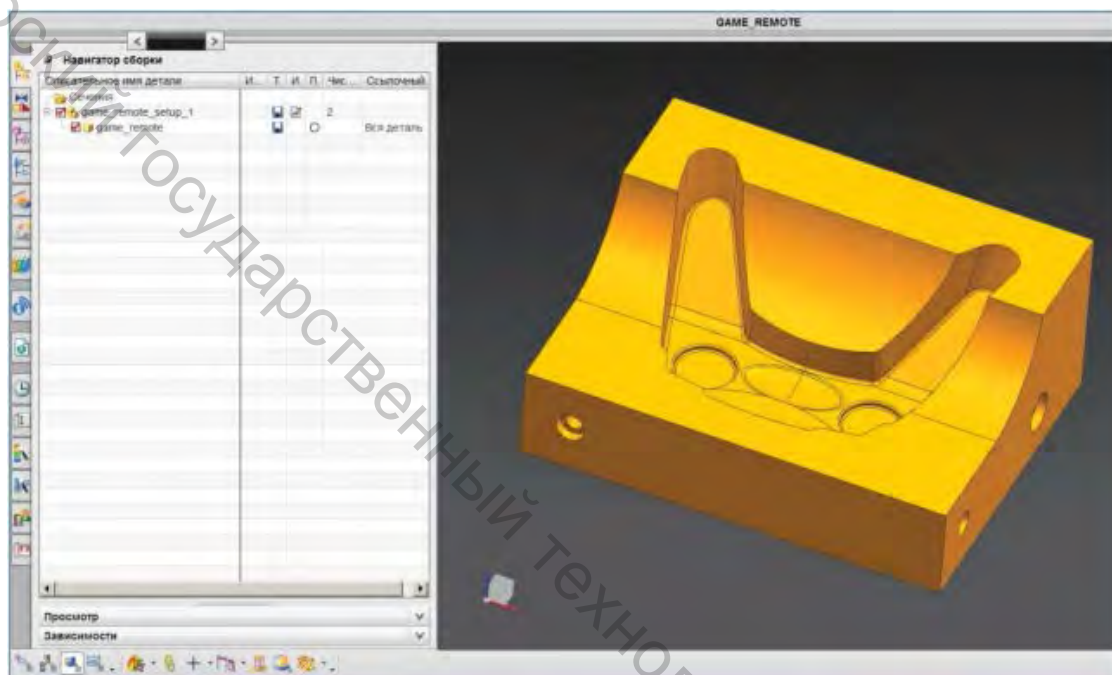


Рисунок 3.81 – Отображение нового проекта для фрезерной обработки детали

Файл сборки не содержит геометрии, поэтому его иногда называют «Сборка для обработки». Использование механизма сборок для этих целей обеспечивает унификацию работы в разных модулях NX.

Кроме этого будут созданы несколько объектов для программирования обработки (их тип и количество определяются видом обработки).

Некоторые созданные объекты показаны на рисунке 3.82 в «Навигаторе операций» – «Геометрия».

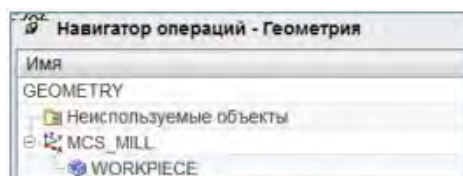


Рисунок 3.82 – Созданные при инициализации объекты в «Навигаторе операций»

MSC\_MILL представляет систему координат станка, WORKPIECE используют при задании геометрии детали, заготовки, контрольной геометрии и т. п. Кроме этого, по умолчанию создаются методы обработки, магазин инструментов и некоторые другие объекты.

Обычно конструкторская деталь перед обработкой претерпевает различные изменения, которые вносит технолог для упрощения геометрии, исключения некоторых геометрических элементов с целью облегчения расчёта траектории движения инструмента и т. д. В соответствии с принципом мастер-модели нельзя редактировать конструкторскую модель. Если для обработки требуется изменение модели, оно производится для её ассоциативной копии (так называемой связанной копии тела с помощью редактора геометрических связей WAVE), которая сохраняется на уровне сборки.

При этом необходимо убедиться, что модуль сборки активен (во вкладке «Файл» должна стоять галочка рядом с вкладкой «Сборки»). Затем выполняют «Вставить» – «Ассоциативное тело» – «Редактор геометрических связей WAVE». Появится новое диалоговое окно (рис. 3.83), в котором во вкладке «Тип объекта» должно быть установлено «Тип» – «Тело».

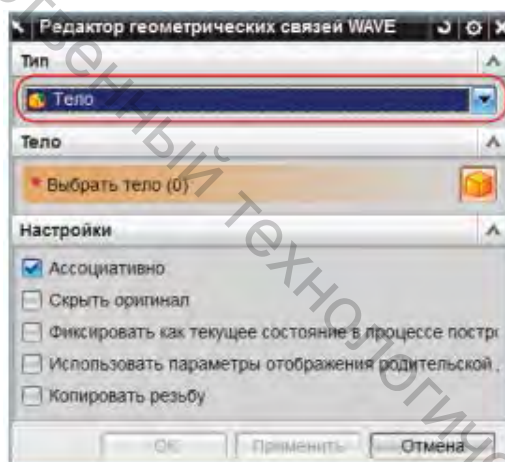


Рисунок 3.83 – Создание копии детали с помощью редактора геометрических связей WAVE

Во вкладке «Выбрать тело» в скобках пока указан 0. После выбора детали в графическом окне нажатием курсора мыши эта цифра изменится на 1 и появляется возможность выполнить операцию нажатием вкладки ОК.

Проверить выполнение созданной операции можно с помощью «Навигатора модели», представленного на рисунке 3.84, на котором показано, что создан объект «Связанное тело». После этого можно выключить отображение компонента в «Навигаторе сборки», нажав красную галочку около имени компонента, которая станет серой – это будет означать, что компонент загружен, но не отображается (рис. 3.85).

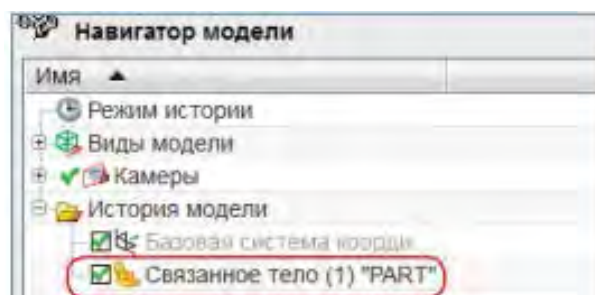


Рисунок 3.84 – Отображение копии детали в «Навигаторе модели»

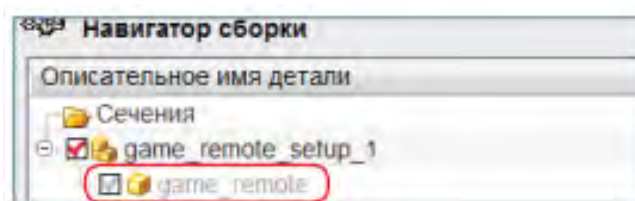


Рисунок 3.85 – Отключение отображения копии детали в «Навигаторе сборки»

При анализе технологичности детали технолог выполняет оценку геометрических элементов во вкладке «Анализ геометрии» с целью уточнения габаритных размеров, величины радиусов переходов, высоты бобышек, ширины пазов и т. д. Такие исследования помогают выбрать геометрию режущих инструментов для обработки, станок с рабочими ходами по осям координат, достаточным для обработки любого обрабатываемого элемента заготовки, приспособления для закрепления заготовки, обосновать расположение рабочей системы координат и т. д.

Применяются разные средства анализа модели. Самый простой – измерение элементов геометрии. Инструментальные средства САМ-системы расположены во вкладке «Анализ», раскрывая которую появляется доступ к вкладкам измерения расстояния, углов, радиусов и т. п. (рис. 3.86). Например, можно измерить длину детали, которая составляет 220 мм (рис. 3.87).

Используя результаты анализа, технолог составляет перечень инструментов для обработки и последовательность их использования. Затем эту последовательность реализуют с помощью управляющих программ, разработанных в САМ-системе.

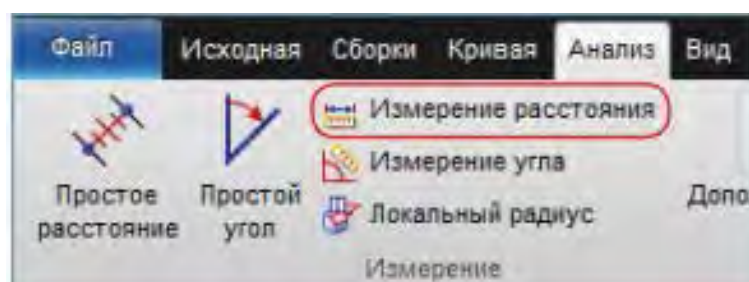


Рисунок 3.86 – Инструменты анализа геометрии детали САМ-системы

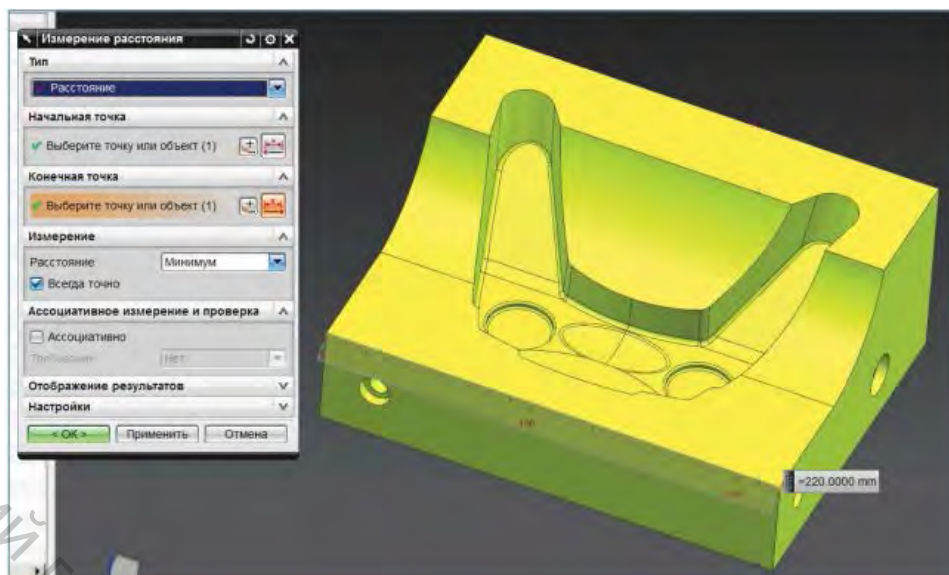


Рисунок 3.87 – Измерение длины детали средствами САМ-системы

Для решения задач фрезерной обработки, как и ранее рассмотренных видов, используют систему координат станка (СКС), в которой располагают рабочую систему координат (РСК), используемую для программирования. Для отображения используют вкладку «Формат», в которой с помощью всплывающей вкладки «Отображение СКС» активируют станочную систему координат, а вкладками «РСК» – «Отобразить РСК» в графической части системы показывают рабочую систему координат. При этом оси СКС маркируются как ХМ, УМ и ZM, а оси РСК – ХС, УС и ZС (рис. 3.88).

СКС задают во вкладке «Навигатор операций» – «Геометрия» – MSC\_MILL. СКС должна быть привязана к характерной точке детали, чтобы оператор мог использовать эту точку для исполнения управляющих программ обработки детали. Наилучшим вариантом считают тот, когда эта характерная точка связана с конструкторской системой координат детали, поскольку соблюдается принцип единства баз.

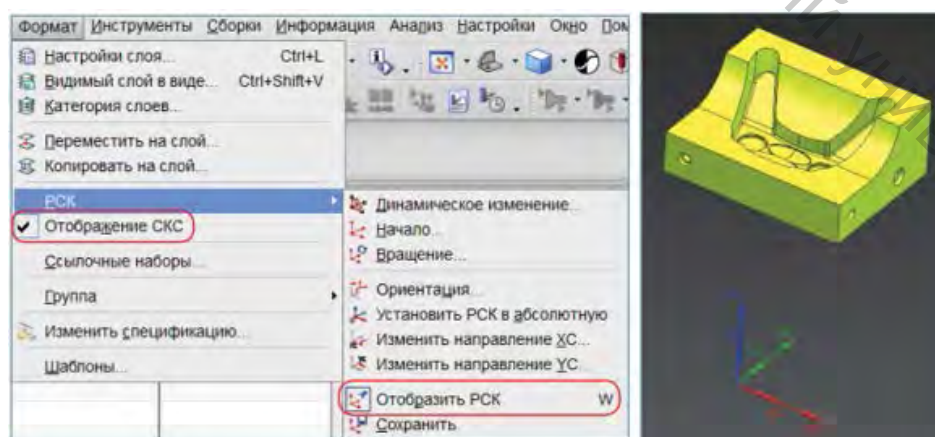


Рисунок 3.88 – Создание координатных систем и их отображение:  
 а – вкладки для создания СКС и РСК; б – отображение координатных систем в графической части САМ-системы

Для выполнения привязки системы координат к элементу детали поступают следующим образом. Дважды щелкают по вкладке MSC\_MILL в «Навигатор операций» – «Геометрия». Появится диалоговое окно «Mill Orient», в которой выбирают «Система координат станка» – «Задайте СКС» (рис. 3.89, обведена красной рамкой).

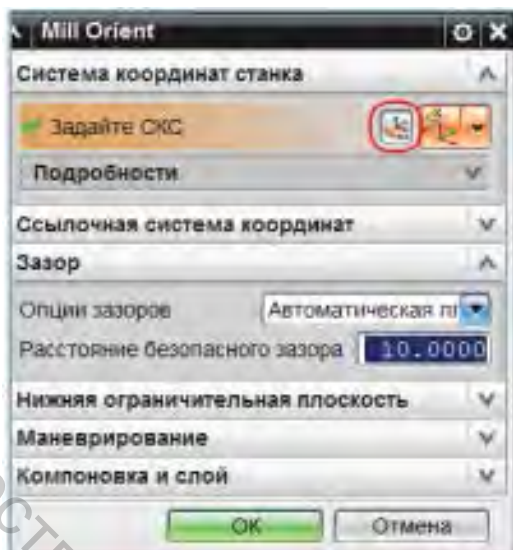


Рисунок 3.89 – Меню ориентации фрезерной обработки

Откроется еще одно диалоговое окно «СК». По умолчанию во вкладке «Тип» появляется вкладка «Динамика» (рис. 3.90). При активировании вкладки «Манипулятор» – «Задать ориентацию» в графической области САМ-системы СКС отобразится с динамическими маркерами, с помощью которых её можно перемещать вдоль координатных осей к характерным точкам детали и, при необходимости, выполнять поворот осей.

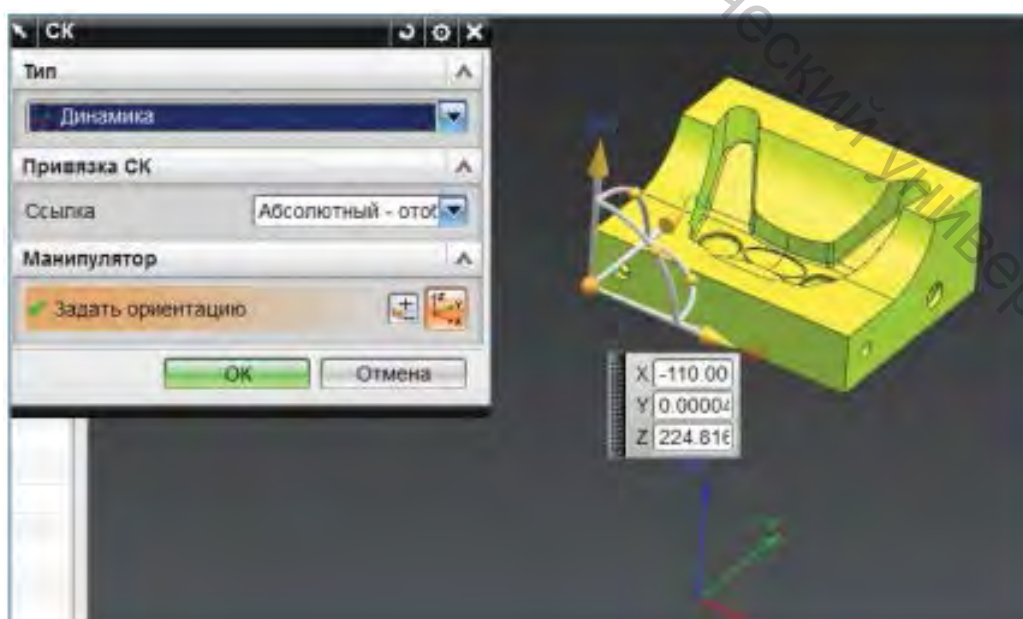


Рисунок 3.90 – Вкладка привязки системы координат к элементу детали

Захватывают систему координат за маркер её начала и перемещают так, чтобы привязать к модели, как показано на рисунке. Для выполнения фрезерования ось инструмента должна совпадать с осью Z. Затем нажимают ОК.

В качестве базовой точки выбран левый угол детали. Однако в ряде случаев более целесообразным для привязки системы координат станка с целью программирования фрезерной обработки в первом установе будет вариант использования в качестве базы геометрического центра основания, поскольку эта же точка используется и конструктором в качестве базовой при создании геометрии детали. В следующих установках такая точка может быть привязана к другому геометрическому элементу.

Поскольку при фрезеровании, как и в других видах обработки, в основном, за один проход удалить весь припуск не удаётся, используют многопроходную обработку. Для её выполнения необходимо каждый проход выполнять с возвратом режущего инструмента в зону врезания. Переход к новому проходу выполняют на так называемой плоскости безопасности, которая отстоит от детали на некотором расстоянии, достаточном для устранения соударения инструмента с элементами заготовки или оснастки. В плоскости безопасности разрешены ускоренные перемещения.

В диалоговом окне «Mill Orient» плоскость безопасности задают во вкладке «Зазор» – «Опции зазоров». По умолчанию в качестве плоскости безопасности задана «Автоматическая плоскость». Кроме этого, могут быть выбраны другие варианты (рис. 3.91).

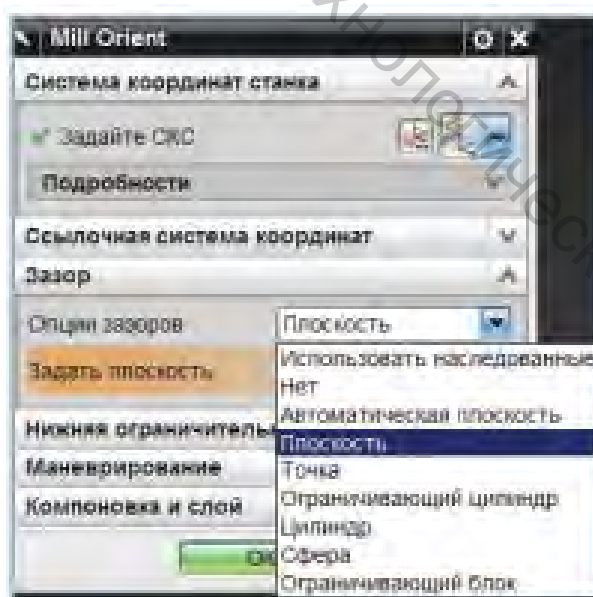


Рисунок 3.91 – Способы задания элемента безопасности

При фрезеровании чаще используют плоскость безопасности. Для задания расстояния до этой плоскости используют вкладки «Опции зазоров» – «Плоскость» – «Задать плоскость».

Раскроется диалоговое окно «Плоскость», в котором «Тип» задан как «Контекстный». Во вкладке «Объекты для задания плоскости» выбирают «Задать плоскость». При этом можно использовать вкладку «Смещение» и задать «Расстояние» – 10 mm. Можно использовать графическое окно, в котором выделяют верхнюю плоскость модели, в графической области будут отображены динамическая плоскость и маркер смещения этой плоскости относительно плоскости детали с расстоянием смещения 10 по умолчанию (рис. 3.92). Затем дважды нажимают ОК.

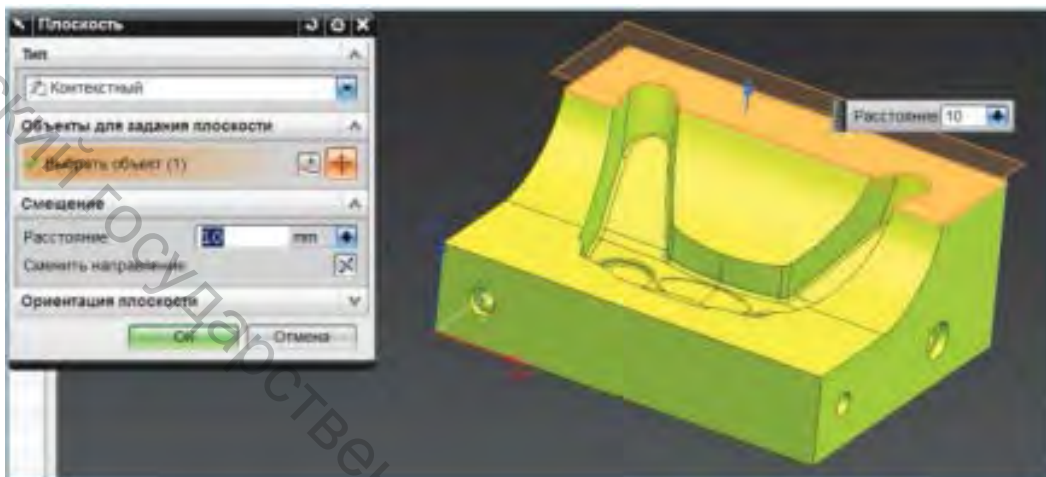


Рисунок 3.92 – Задание расстояния до плоскости безопасности

Затем переходят к заданию геометрии детали и обрабатываемой заготовки.

Геометрия детали и заготовки задается во вкладке «Навигатор операций» – WORKPIECE. При двойном клике на вкладке WORKPIECE появится диалоговое окно «Геометрия фрезеровки» (рис. 3.93).

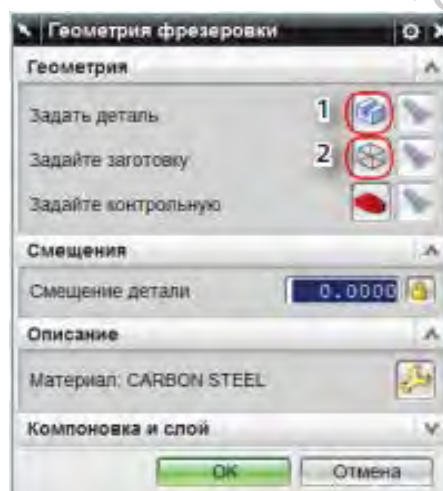


Рисунок 3.93 – Задание геометрии детали и заготовки для программирования фрезерования

Выбирают вкладку «Задать деталь» – 1. После этого появится новое окно «Геометрия детали», во вкладке которой «Геометрия» активна вкладка «Выбрать объект». В графической области системы курсором выделяют деталь, которая подсветится оранжевым цветом (рис. 3.94), а в списке выбранных объектов появится цифра 1. Нажимают ОК. Может быть выбрано несколько объектов.

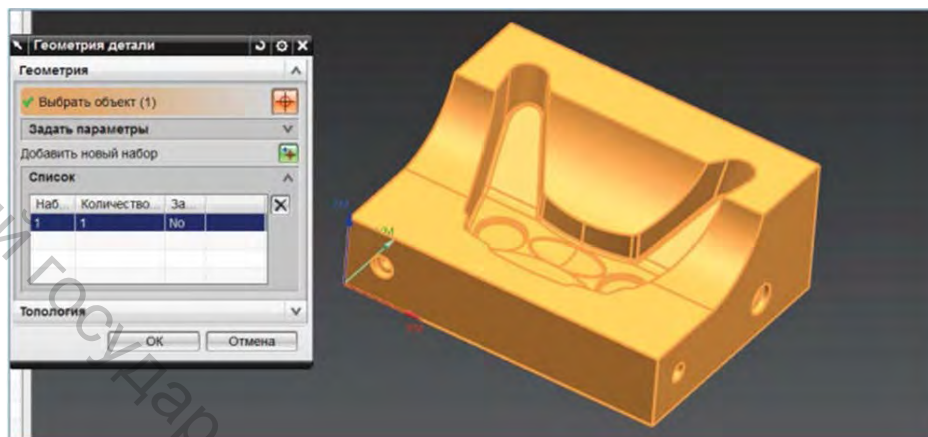


Рисунок 3.94 – Выбор детали в качестве объекта для фрезерования

Затем раскрывают вкладку «Задайте заготовку» (2 на рис. 3.93). Во вкладке «Тип» по умолчанию установлена заготовка «Ограничивающий блок». Доступны и другие типы заготовок. Кликают по этой вкладке, раскроется вкладка «Геометрия заготовки» и в графической части появятся очертания ограничивающего блока, при этом его поверхности по умолчанию совпадают с габаритными поверхностями детали. Рядом с направлениями координатных осей ограничивающего блока появятся динамические маркеры (рис. 3.95).

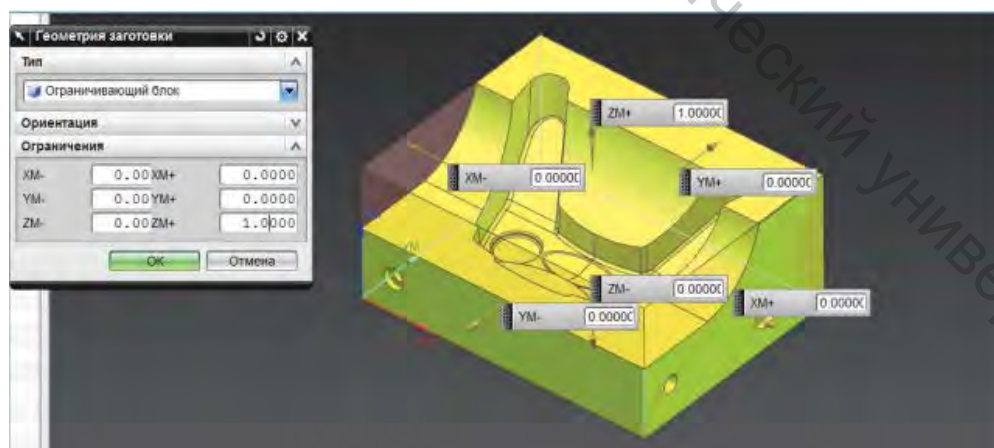


Рисунок 3.95 – Создание заготовки в форме ограничивающего блока и задание его размеров

Используя динамические маркеры, можно изменить размеры ограничивающего блока, если размеры заготовки перед фрезерованием будут

больше размеров детали на величину припусков, что необходимо для получения детали с заданной размерной точностью и шероховатостью обработанных поверхностей. Этот этап позволяет технологу определить размеры исходной заготовки перед фрезерованием и составить техническое задание для заготовительного участка. В этом задании определяются все требования к заготовке перед обработкой на станках с ЧПУ.

Для плоскостных деталей заготовкой чаще всего служит «Ограничивающий блок». Такая заготовка для детали из базы знаний NX задаётся в виде параллелепипеда с размерами по длине и ширине, равными размерам детали, а на его верхней поверхности пусть имеется припуск на обработку равный 1 мм. Припуск по Z задают в соответствующем поле диалогового окна «Геометрия заготовки» – «Ограничения» или в графической части рядом с динамическим маркером оси Z.

Определившись с заготовкой, следует приступить к определению последовательности фрезерования формообразующих элементов детали, к которым относят фигурные элементы полости и поверхности смыкания данной детали с сопрягаемыми, которыми служат плоские и вогнутые элементы профиля. Наиболее правильно в этом случае выбрать такой диаметр инструмента для черновой обработки перечисленных выше участков, чтобы он допускал работу с большой глубиной резания в каждом проходе и при этом на черновых проходах проникал в элементы формообразующего профиля. В этом случае удастся удалить основной объём припуска за минимальное время. Для выбора такого инструмента целесообразно использовать результаты анализа геометрии детали, выполненные ранее. Так значение минимального радиуса стенки формообразующей полости изменяется в диапазоне от 11 до 14 мм, не считая минимальных радиусов переходов от наклонных стенок к дну (рис. 3.96). Поэтому для черновой обработки может использоваться концевая фреза диаметром 20 мм. Затем можно переходить к полустойковой обработке профиля поверхности смыкания и черновой обработке формообразующей полости, которые будут обрабатываться инструментами меньшего диаметра.

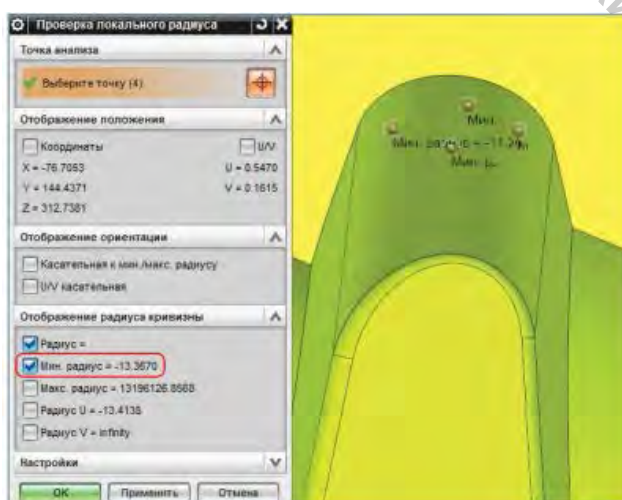


Рисунок 3.96 – Значения локального радиуса элемента формообразующей полости детали

Ранее описывались варианты обработки, в которых использовались объекты, созданные при инициализации. Здесь необходимо создать новый объект – инструмент.

Команды создания новых объектов расположены в ленточной инструментальной панели, если в меню выбрана вкладка «Исходная» (рис. 3.97).

Новыми объектами, которые могут создаваться в указанной вкладке, являются: «Создание инструмента» (1), «Создание геометрии» (2), «Создание операции» (3), «Создание группы программ» (4), «Создание метода обработки» (5).

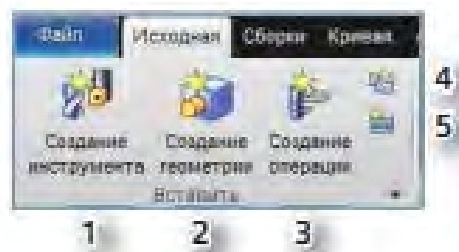


Рисунок 3.97 – Меню создания новых элементов для программирования обработки

Значки команд, которые используются редко, показаны более мелкими вкладками (4 и 5).

Раскрывая вкладку «Создание инструмента», появится диалоговое окно, меню которого показано на рисунке 3.98.

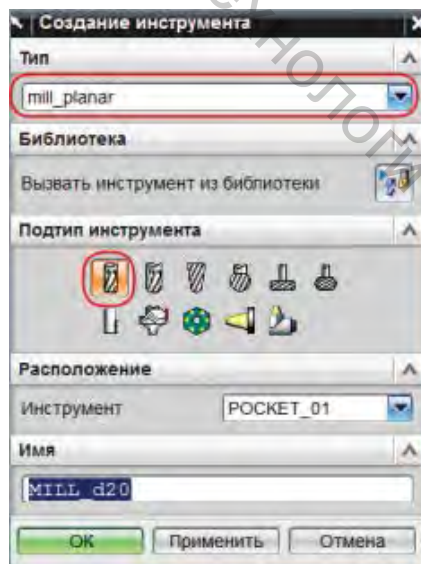


Рисунок 3.98 – Меню создания нового инструмента для программирования обработки

Во вкладке «Тип» по умолчанию указан тип инструмента – mill\_planar. Конкретный инструмент для обработки технологом может быть выбран из библиотеки – вкладка «Библиотека», либо из графической подсказки «Подтип инструмента».

В качестве подтипа инструмента выбирают первую графическую вкладку – концевая фреза (END\_MILL – обведена красным). Местом расположения служит гнездо магазина (карман) под номером 01 – SOCKET\_01. Инструменту присваивают «Имя» – MILL\_d20 и нажимают ОК.

Появится еще одно диалоговое окно, в котором задаётся геометрия инструмента – «Фреза 5 параметров» (рис. 3.99). Как и при токарной обработке в меню имеются 4 вкладки. Размеры фрезы задаются на вкладке «Инструмент», активной по умолчанию.

Вкладка «Эскиз» включает собственно эскиз инструмента и содержит буквенные параметры геометрии, которые во вкладке «Размеры» содержат пояснения этих параметров и их числовые значения.

Задают диаметр фрезы 20 мм. Остальные параметры оставляют по умолчанию (при необходимости они могут быть изменены). При этом во вкладках «Номер инструмента», «Регистр настройки» и «Регистр коррекции» указана цифра 1, а рядом с вкладками отображается закрытый замок. Это означает, что параметр наследуется из ячейки магазина 1, в которую этот инструмент был занесен.

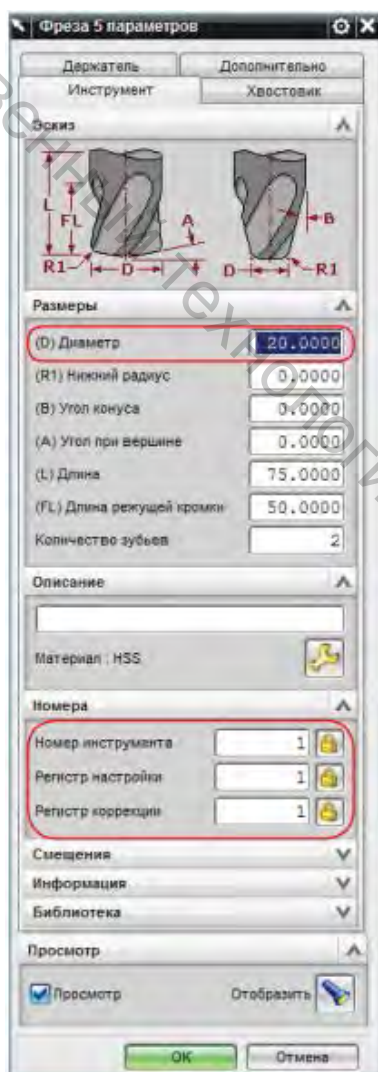


Рисунок 3.99 – Вкладка задания геометрических параметров нового инструмента

Можно изменить номер инструмента явно, при этом замочек будет показан открытым. Чаще всего так не поступают, особенно в условиях серийного производства, когда проект может часто модифицироваться, что может привести к возникновению ошибок.

Созданный инструмент можно просмотреть, если раскрыть «Навигатор операций – Станок» во вкладке первого гнезда магазина – CARRIER\_01, в котором появился новый объект – MILL\_D20 (рис. 3.100).

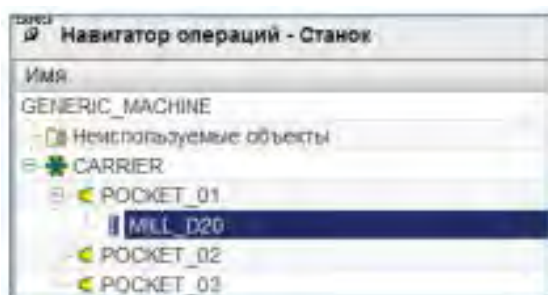


Рисунок 3.100 – Новый инструмент в «Навигаторе операций»

Затем выполняют команду создания операции (вкладка 3 на рис. 3.97). Появится диалоговое окно «Создание операции» с вкладками «Тип», «Подтип», «Расположение», «Имя» (рис. 3.101).

Операции, так же, как и инструменты, сгруппированы по типам.

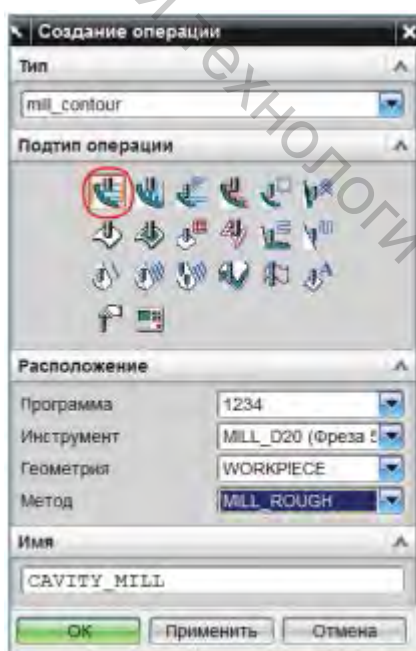


Рисунок 3.101 – Новый инструмент в «Навигаторе операций»

Во вкладке «Тип» выбирают mill\_contour, поскольку площадь обработки в процессе резания будет изменяться, во вкладке «Подтип операции» выбирают первую вкладку – операцию черновой обработки CAVITY\_MILL («Глубинное фрезерование»).

Во вкладке «Расположение» указывают родительские объекты для данной операции (т. е. расположение в иерархии объектов обработки). Эти объекты указывают как на рисунке 3.101. Имя операции сохраняют по умолчанию и нажимают ОК.

Операция будет помещена в группу программ 1234. В операции используют созданный ранее инструмент (концевая фреза диаметром 20 мм – MILL\_D20), геометрия детали и заготовки задают во вкладке WORKPIECE. Метод MILL\_ROUGH означает грубая обработка. При выполнении команды ОК будет открыто основное диалоговое окно операции (рис. 3.102).

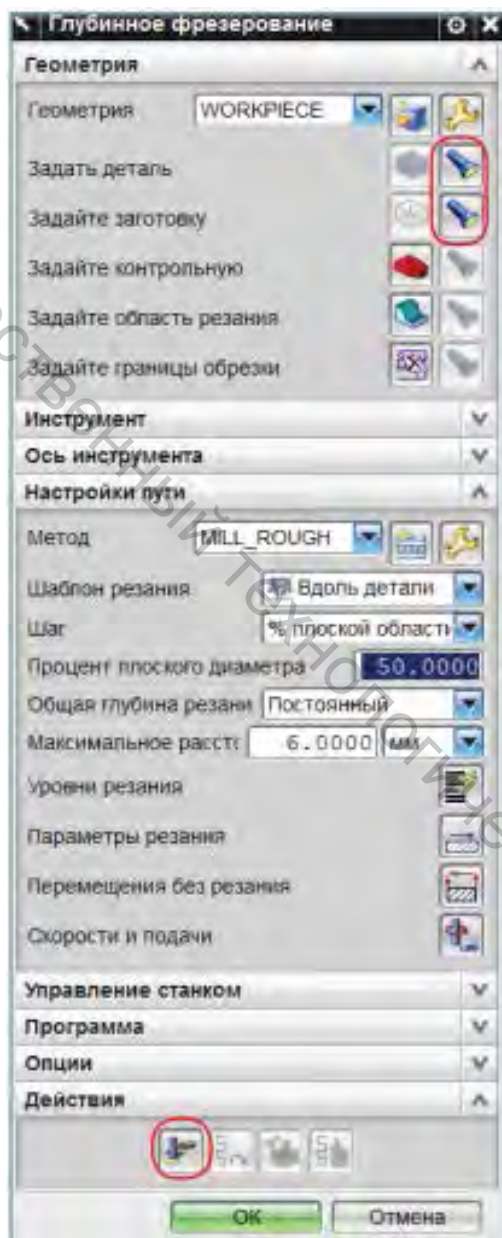


Рисунок 3.102 – Общий вид вкладки «Глубинное фрезерование»

В верхней части диалогового окна указывается геометрическая информация, которая учитывается в операции. Вкладка «Геометрия» установлена на WORKPIECE. Во вкладках «Задать деталь» и «Задайте

заготовку» активны вкладки с изображением фонарика (просмотра). Это признак, что эти объекты наследуются из родительской группы.

Другие вкладки «Задайте контрольную», «Задайте область резания» «Задайте границы обрезки» в данный момент могут быть заданы, но не используются (фонарики не активны).

Даже в таком виде с параметрами по умолчанию можно выполнить генерирование траектории движения режущего инструмента с помощью вкладки «Генерировать» (см. рис. 3.102). В результате этого траектория будет создана и приобретёт вид, показанный на рис. 3.103.

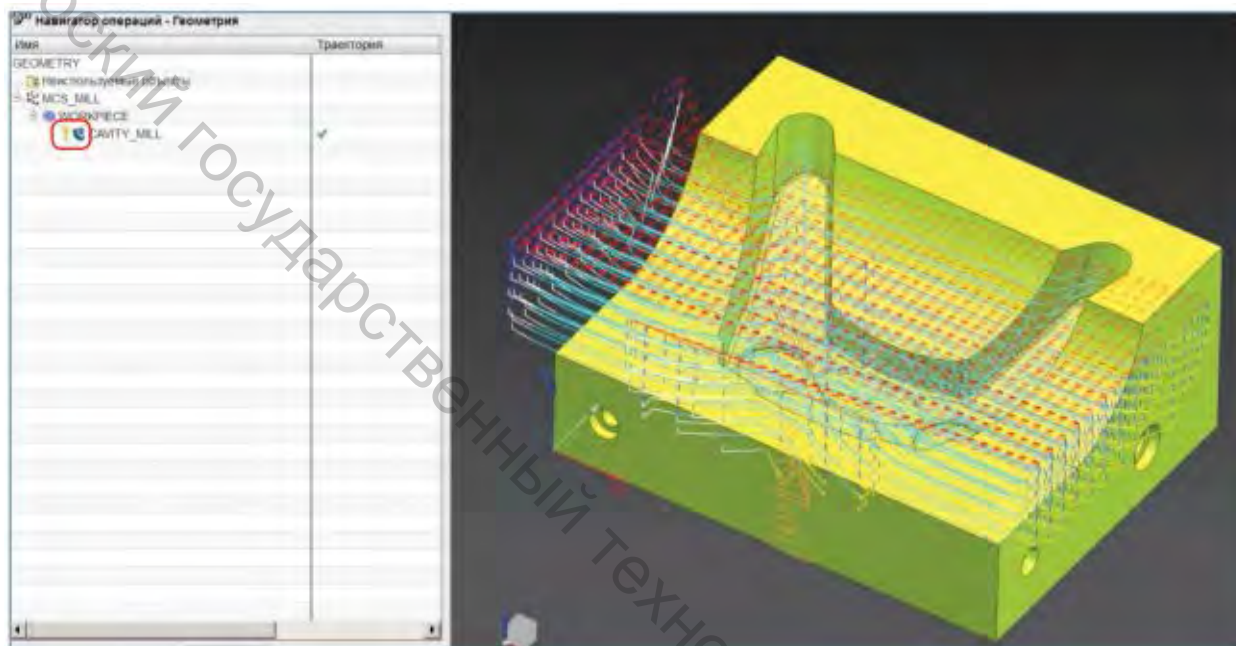


Рисунок 3.103 – Траектория движения инструмента при глубинном фрезеровании

При генерировании в графической области появится сообщение «Отмена», поскольку заданы не все параметры операции. Несмотря на это сообщение ожидают завершения генерирования траектории либо прерывают генерирование и вносят исправления в назначенные параметры.

В траектории разным цветом показаны разные типы движения – рабочие ходы (синий цвет), врезания (жёлтый), перебеги (белый), ускоренные перемещения (красный цвет штрихпунктирных линий) и т. д.

Для сохранения операции нажимают ОК, она отобразится в «Навигаторе операций».

Можно было не генерировать операцию, а сразу сохранить её. Операция также сохранится в «Навигаторе операций», но будет помечена как негенерированная. Так часто делают в случае, если время расчёта траектории слишком велико. Сгенерировать операцию и добавить недостающие параметры можно в любой момент времени.

В «Навигаторе операций» отображается состояние (или так называемый статус) траектории движения инструмента в виде символа перед названием операции.

Статус может иметь разные значения. Наиболее часто встречаются следующие:

- траектория не сгенерирована или является устаревшей (не учитывает изменений модели) – красный круг, перечёркнутый справа налево;
- траектория сгенерирована, но не выведена на постпроцессор – восклицательный знак жёлтого цвета;
- траектория выведена на постпроцессор и может быть передана на станок – галочка зелёного цвета.

Затем целесообразно выполнить проверку корректности выполнения обработки в сгенерированной операции. Для этого существуют различные способы. Наиболее продвинутым вариантом является верификация, при которой на экране монитора компьютера отображается реальный процесс съёма материала заготовки созданным режущим инструментом.

Этот способ позволяет выявить возможные проблемы, такие как зарезы (внедрение инструмента в материал на величину, большую припуска на обработку), столкновения державки инструмента или оправки с заготовкой или элементами станка, контакт с материалом на ускоренной подаче, чрезмерный припуск на обработку и т. д.

Вкладка верификации находится в ленточной инструментальной панели САМ-системы, которая отображается во вкладке «Исходная» – «Проверка траектории» (2). Верификация возможна как для проверки одной операции, так и для группы созданных операций.

В этой же вкладке доступны также вкладки «Генерировать траекторию» (1), «Постпроцессировать» (3), «Цеховая документация» (4), показанные на рисунке 3.104.

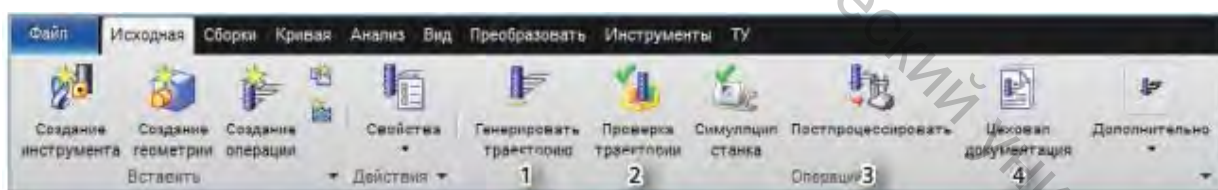


Рисунок 3.104 – Вид вкладки «Исходная»

Последовательность действий при верификации следующая. В «Навигаторе операций» выбирают операцию CAVITY\_MILL и выбирают вкладку «Верификация». Раскрывается диалоговое окно «Визуализация траектории инструмента» и доступные варианты отображения верификации (рис. 3.105).

Выбирают вкладку «3D динамика» (1), уменьшают скорость анимации до 4–5 (2), чтобы скорость визуализации позволила отследить движения инструмента, и выполняют команду «Пуск» (3). В любой момент можно использовать вкладку «Стоп» (4), а затем продолжить анимацию. В верхней

части окна верификации отображается фрагмент управляющей программы в кодах САМ-системы.

В графической области визуализируется процесс съёма материала инструментом. Затем нажимают ОК.

В графической части после верификации цветовая гамма отображает состояние заготовки после обработки. Синим цветом показаны поверхности, на которых присутствует не удалённый припуск, поскольку операция является черновой, расстояние между проходами соответствует вкладке «Максимальное расстояние» и равно 6 мм (принято по умолчанию и пока не корректировалось, см. рис. 3.102), сине-жёлтым цветом показаны совпадающие поверхности заготовки и детали, на которые при создании заготовки припуски не назначались.

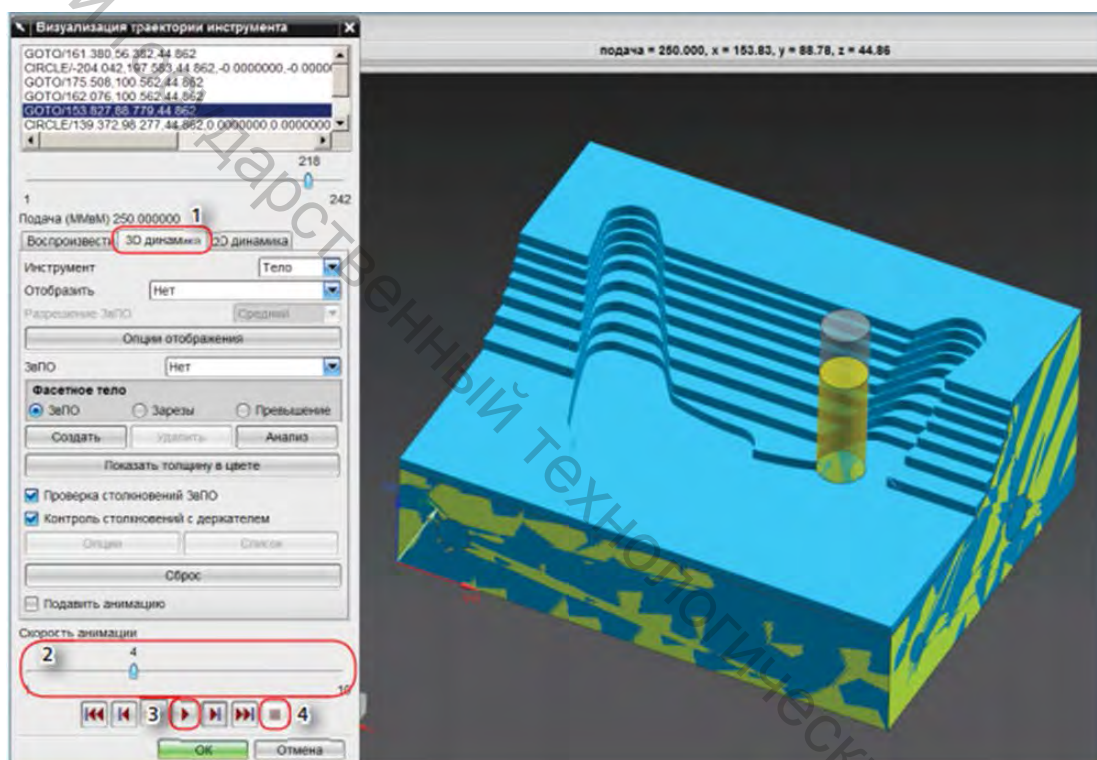


Рисунок 3.105 – Вкладка верификации обработки при глубинном фрезеровании и её результат в графической области

Для получения управляющей программы для конкретного станка сгенерированная в САМ-системе программа должна пройти через постпроцессор.

Постпроцессор представляет программный модуль, предназначенный для преобразования управляющей траектории, сформированной САМ-системой, в управляющую программу для конкретного станка с ЧПУ с учётом особенностей его кинематики.

Разрабатывая постпроцессор, обычно имеют дело с двумя фундаментальными объектами САМ-систем:

– траектория – линия движения кромки центра инструмента, которую инженер-программист рассчитывает в САМ-системе при программировании обработки конкретных поверхностей. Траектория состоит из линейных участков и частей дуг. Набор данных о траектории называется CLDATA (Cutter Location DATA). Такая информация не понятна для станка;

– управляющая программа как набор данных в заданном формате (на языке конкретного УЧПУ) для управления перемещением рабочих органов станка, а также другими установленными на нём устройствами.

Таким образом, постпроцессор – это промежуточное звено между САМ-системой и станком.

Среди постпроцессоров следует выделить настраиваемые и встроенные. Встроенные обычно создаются производителями контроллеров ЧПУ и обладают надёжностью, главный их недостаток – они недостаточно гибки из-за ограниченности набора параметров настройки. Когда необходима оптимизация управляющей программы или нестандартные функции контроллеров, наиболее привлекательны настраиваемые постпроцессоры.

Для выполнения постпроцессирования выбирают операцию CAVITY\_MILL в «Навигаторе операций» и вкладку «Постпроцессировать» (3 на рис. 3.104).

Появится диалоговое окно (рис. 3.106), в верхней части которого приведен перечень станков, к которым разработанные постпроцессоры включены в базу NX CAM.

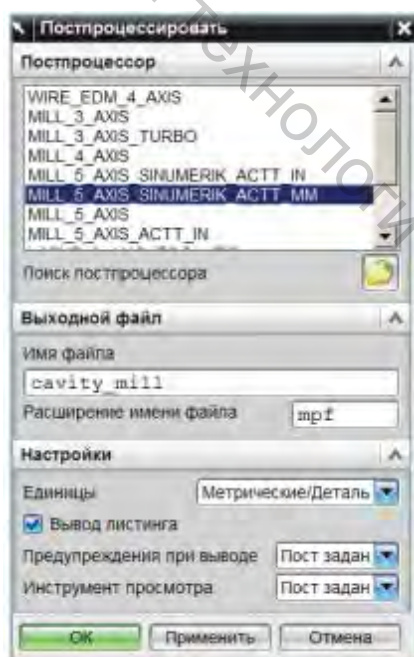


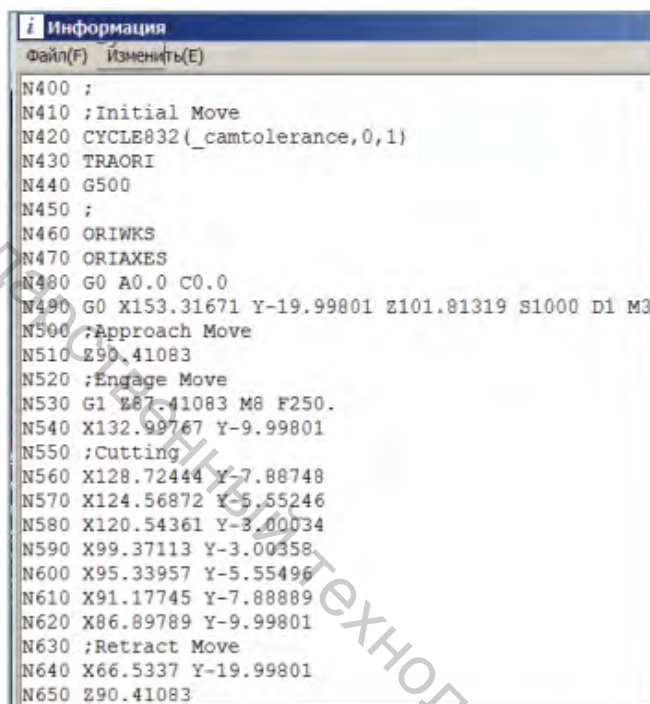
Рисунок 3.106 – Вкладка постпроцессирования управляющей программы в САМ-системе

Выбирают постпроцессор, как на рисунке, и нажимают ОК. Данный постпроцессор обеспечивает конвертацию программы для пятиосевого

фрезерного станка с ЧПУ, который оснащён системой ЧПУ SINUMERIK, работающей в метрической системе счисления размеров.

Результат работы постпроцессора будет записан в текстовый файл с расширением, принятым для конкретной системы ЧПУ (для Sinumerik – mpf). Кроме того, если активирована вкладка «Вывод листинга», текст управляющей программы выводится в информационное окно (рис. 3.107).

Операция, выведенная на постпроцессор, получит статус «Постпроцессирована», который отображается в навигаторе операций (рис. 3.108).



```
Информация
Файл(F)  Изменить(E)
N400 ;
N410 ;Initial Move
N420 CYCLE832(_camtolerance,0,1)
N430 TRAORI
N440 G500
N450 ;
N460 ORIWKS
N470 ORIXES
N480 GO A0.0 C0.0
N490 GO X153.31671 Y-19.99801 Z101.81319 S1000 D1 M3
N500 ;Approach Move
N510 Z90.41083
N520 ;Engage Move
N530 G1 Z87.41083 M8 F250.
N540 X132.99767 Y-9.99801
N550 ;Cutting
N560 X128.72444 Y-7.88748
N570 X124.56872 Y-5.55246
N580 X120.54361 Y-3.00034
N590 X99.37113 Y-3.00358
N600 X95.33957 Y-5.55496
N610 X91.17745 Y-7.88889
N620 X86.89789 Y-9.99801
N630 ;Retract Move
N640 X66.5337 Y-19.99801
N650 Z90.41083
```

Рисунок 3.107 – Листинг постпроцессированной управляющей программы для станка с ЧПУ

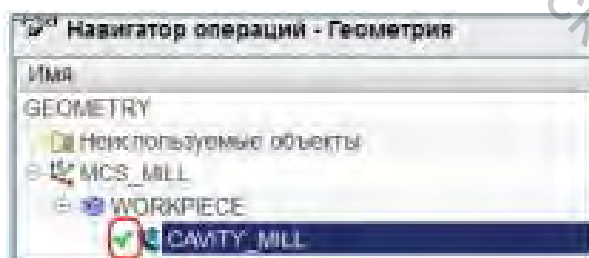


Рисунок 3.108 – Изменение статуса созданной управляющей программы в САМ-системе

Текст управляющей программы для её исполнения на станке получен.

Если бы вся обработка детали задавалась только одной операцией, вряд ли имело бы смысл создавать столько объектов обработки – все можно было бы задать в одной операции. Но реальные проекты обработки могут содержать десятки и сотни операций. В этом случае использование идеологии

родительских групп позволяет легко модифицировать параметры сразу для группы операций (например, припуск на чистовую обработку). Если такой припуск задавался в операциях, пришлось бы заходить в каждую операцию, менять в ней припуск и регенерировать операции. Это дольше и не так наглядно, в случае если предстоит снова поработать с созданным проектом спустя некоторое время.

Многие команды модуля обработки можно вызвать из контекстного меню объектов обработки. При этом некоторые команды дублируются с вкладками меню, а некоторые могут быть выполнены только из контекстного меню.

Контекстное меню (меню, вызываемое правой кнопкой мыши, когда курсор позиционирован на объекте) дублирует многие функции меню и вкладок инструментальных панелей.

Для использования таких возможностей выбирают, например, операцию в «Навигаторе операций» и нажимают правую кнопку мыши (рис. 3.109).

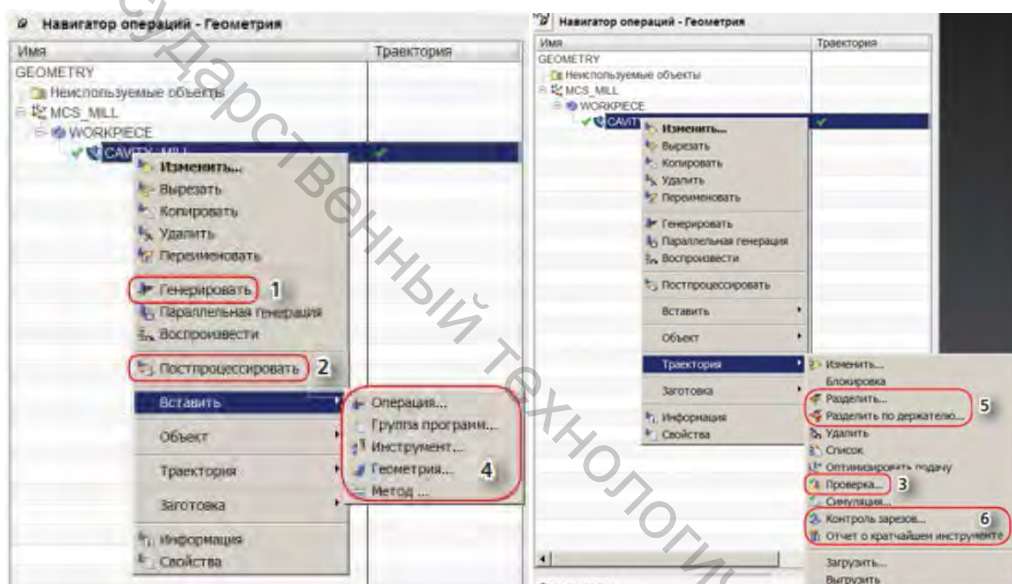


Рисунок 3.109 – Использование вкладок контекстных меню и их примеры

Вкладки «Генерировать» (1), «Постпроцессировать» (2), «Траектория» – «Проверка» (3) соответствуют вкладкам на панели «Исходная» (рис. 3.104).

Все вкладки «Вставить» (4) (новый объект) идентичны вкладкам на рисунке 3.101.

В то же время часть вкладок доступна только из контекстного меню. К ним относят «Разделить», «Разделить по держателю» (5), «Контроль зарезов», «Отчет о кратчайшем инструменте» (6).

Если вызвать контекстное меню из вкладки «Навигатор операций» и не выбрать никаких объектов, то появится еще одно контекстное меню (рис. 3.110), в котором представлены команды переключения видов самого «Навигатора операций» (7): «Раскрыть всё», «Свернуть все» в дереве объектов обработки (8). Вкладка «Столбцы» (9) служит для настройки столбцов вкладки «Навигатор операций».

Операция CAVITY\_MILL служит для удаления основного объема материала. Глубинное фрезерование подходит для черновой обработки формообразующей оснастки, но используется и для обработки деталей других классов. Операция удаляет материал плоскими уровнями, перпендикулярными фиксированной оси инструмента, то есть является 2,5-осевой операцией.

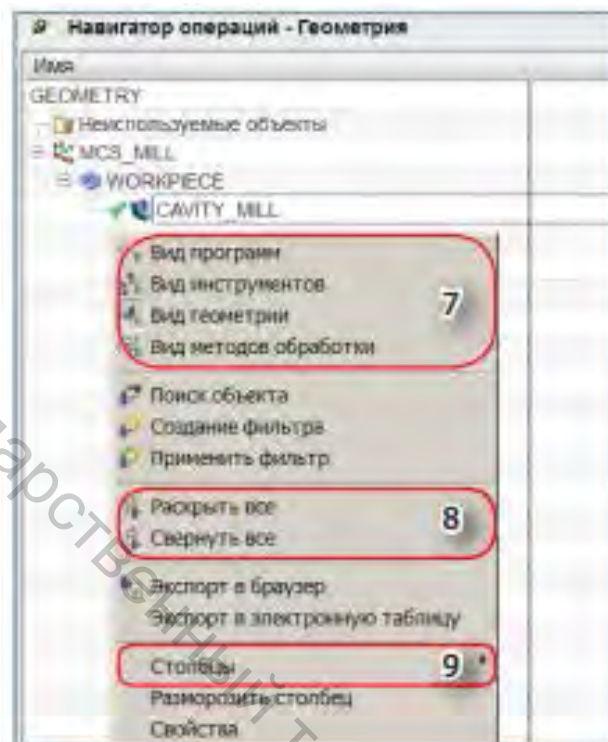


Рисунок 3.110 – Использование вкладок для настройки «Навигатора операций»

В некоторых случаях её используют и как чистовую.

Операция имеет очень большое количество параметров и их освоение лучше выполнить поэтапно. Многие параметры в дальнейшем встретятся и в других типах операций.

В этом подразделе представлен порядок программирования фрезерной обработки и рассмотрены лишь основы такого программирования на достаточно простом примере. NX обладает весьма широкими возможностями программирования обработки сложных поверхностей в части используемых стратегий (или шаблонов резания), обеспечивается программирование большого количества параметров, оказывающих влияние на точность и качество обработки, имеет обширную библиотеку режущих инструментов, предлагает симуляцию обработки на виртуальном оборудовании и т. д. Использование тех или иных возможностей САМ-системы определяется перечнем задач, которые решает производственное подразделение.

Представленные выше материалы могут стать основой для более глубокого изучения возможностей этого программного продукта.

### 3.6 Измерительные циклы в программах обработки

При выборе оборудования для обработки деталей различного назначения особое внимание следует уделять дополнительному оснащению станков с ЧПУ различных типов. К такому оснащению относят измерительные системы, которые существенно сокращают затраты вспомогательного времени на подготовку станка к выполнению обработки, а после выполнения окончательных операций обработки обеспечивают выполнение контроля результатов обработки. Причём использование измерительных систем позволяет реализовать различные схемы адаптивного управления обработкой. Главное достоинство таких систем состоит в том, что по результатам измерения размеров обработанных заготовок можно автоматически скорректировать процесс обработки, не снимая деталь со станка, и добиться высокой точности обработки.

Разработка производителями станков измерительных систем в виде лазерных датчиков и датчиков (щупов), работающих в инфракрасном диапазоне, используемых для определения положения заготовки на станке, измерения её размеров после обработки, а также измерения размеров инструментов позволила добавлять в управляющие программы так называемые измерительные циклы. Измерительные циклы поддерживаются в режиме симуляции движений датчика с контролем столкновений.

Наиболее известными производителями измерительных систем для станков различных групп являются HEIDENHAIN, Renishaw и др. Далее рассматриваются возможные варианты использования датчиков на примере фирмы HEIDENHAIN. Измерительные датчики помогают сократить затраты на наладку станка перед обработкой, измерения и контроль как в процессе обработки, так и после её окончания. Такие измерения выполняются либо вручную, либо автоматически системой ЧПУ. Для измерения заготовки используются датчики (щупы) типа TS (460, 640 и др.), а для измерения размеров инструмента – контактные щупы типа TT и лазерные системы TL. На рисунке 3.111 приведены современные контактные щупы фирмы HEIDENHAIN. В измерительных щупах компании HEIDENHAIN используются встроенные воздушные сопла для очистки заготовки перед измерением, намеченная точка излома на измерительном стержне, позволяющая устранить возможность поломки ответственных деталей щупа. Кроме этого, выполнена эффективная защита от столкновений с помощью механического адаптера, установленного между самим щупом и зажимным конусом, которая предотвращает поломку щупа TS при столкновении. В случае столкновения корпуса щупа с заготовкой или с зажимным приспособлением щуп отклоняется. Одновременно с этим снимается сигнал готовности, и система ЧПУ автоматически останавливает станок. При этом измерительный щуп остается в рабочем состоянии.

Адаптер защиты от столкновений щупа TS помогает избежать серьезных повреждений шпинделя и других узлов станка. Для передачи данных используется комбинация различных интерфейсов передачи данных в щупах TS 460, TS 640 и TT 460, которая объединяет преимущества инфракрасного и радиоканалов в одном устройстве. Инфракрасный канал идеально подходит для компактных станков с кабинетной защитой рабочей зоны, а радиоканал используется, в основном, в крупных станках.



Рисунок 3.111 – Измерительные датчики для станков с ЧПУ

Для измерения заготовок и определения их положения на станке используют щупы серии TS. В зажимной патрон они устанавливаются вручную или при помощи автоматического сменщика инструмента из гнезда магазина. Чаще всего такое гнездо используют только для установки измерительного щупа и другими инструментами не занимают. В зависимости от циклов измерения с помощью системы ЧПУ в автоматическом или в ручном режиме можно выверять положение заготовки относительно координатной системы станка, чтобы затем привязать к этой системе нулевую точку управляющей программы. Кроме этого, появляется возможность привязки измерительных циклов к управляющей программы обработки операционной заготовки для контроля размерной точности обработки на станке, а также оцифровывать заготовки. Ниже приведен пример применения контактного щупа (рис. 3.112).

Точное расположение заготовок в системе координат станка, в том числе и не обработанных, является необходимым условием для ориентации базовых поверхностей. Измерительный щуп TS обеспечивает определение положения заготовки на столе станка или приспособлении при любом их положении относительно системы координат станка. В этом варианте использования измерительный щуп определяет наклонное положение заготовки по её поверхности, острову (выступу) или двум отверстиям, а система ЧПУ компенсирует наклонное положение заготовки относительно координатных направлений за счёт возможности поворота координатных осей.



Рисунок 3.112 – Пример использования измерительного датчика для контроля положения детали на станке

Для этого значение разности угла между координатной системой станка и координатной системой детали записывают в таблицу так называемых нулевых точек, которые установлены в координатной системе станка и привязаны к детали (рис. 3.113 а). Эти точки используют затем для исполнения управляющих программ обработки операционной заготовки. Количество нулевых точек определяется количеством выполняемых установов.

Для станков, оснащённых управляемыми поворотными столами, имеется возможность компенсации разности измерения углов за счёт поворота стола с заготовкой относительно координатной системы станка (рис. 3.113 б).

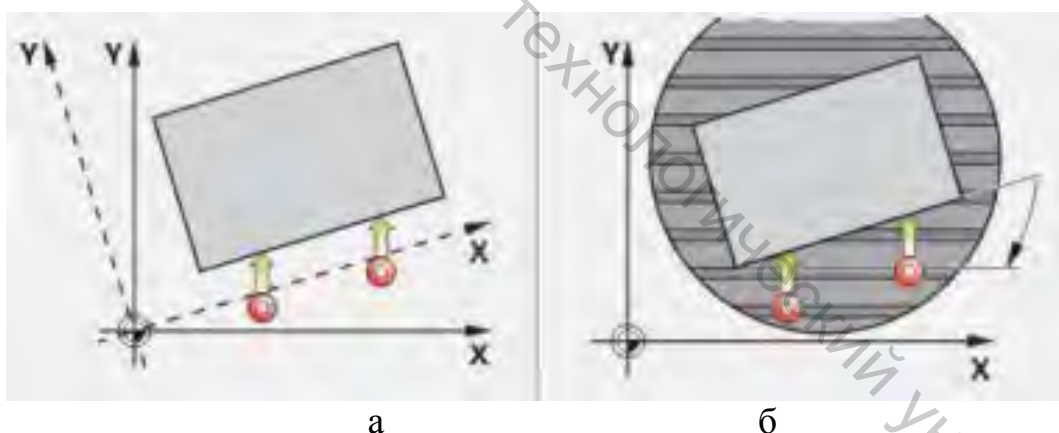


Рисунок 3.113 – Варианты использования измерительного датчика при выверке положения детали на станке:

- а – поворотом координатной системы детали в координатной системе станка;
- б – поворотом управляемого стола

Программы обработки заготовки привязывают к начальным точкам (их называют точками привязки). Быстрое и надежное определение точки привязки при помощи измерительного щупа экономит время и повышает точность обработки. В зависимости от используемых циклов при помощи измерительных щупов можно автоматически определять начальную точку через наружный угол заготовки, центр прямоугольного острова (выступа) на верхней плоскости

заготовки, центр отверстия в заготовке, по центрам отверстий, расположенных на концентрической окружности (рис. 3.114).

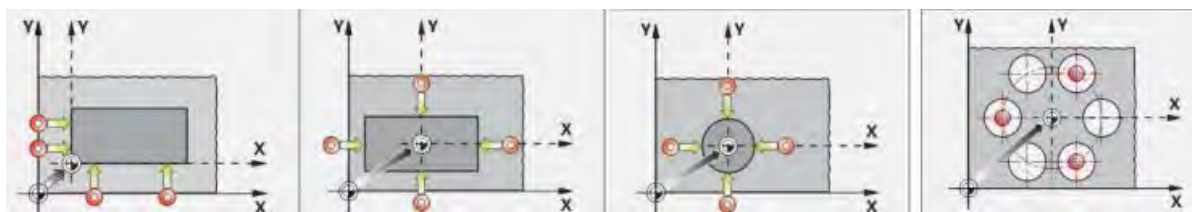


Рисунок 3.114 – Привязка начальной точки к детали на станке с использованием её геометрических элементов

Измерительные щупы TS применяют, например, для измерения размеров заготовки между двумя циклами обработки в автоматическом режиме. Полученные значения измерений используются, например, для компенсации износа инструмента. Кроме этого, после изготовления детали при помощи измерительного щупа можно измерить и занести в протоколы измерений достигнутую точность обработки. Система ЧПУ может передать результаты измерений по интерфейсу передачи данных для распечатки результатов измерений.

При помощи специального программного обеспечения, например, FormControl или другого, можно также оцифровывать поверхности заготовки, в том числе, произвольной формы непосредственно на станке. Для этого выполняют измерения поверхности в выбранных точках, через которые затем воспроизводят саму поверхность в 3D. Важным преимуществом систем контактного позиционирования является возможность существенного сокращения вспомогательного времени при решении практических задач. В качестве примеров приведены следующие. Пусть необходимо выполнить установку заготовки вдоль осей станка и установить нулевую точку обработки в одном из её углов с помощью индикатора часового типа и контактного щупа (рис. 3.115 а). На рисунке 3.115 б показаны затраты вспомогательного времени на выполнение операций для обоих случаев.

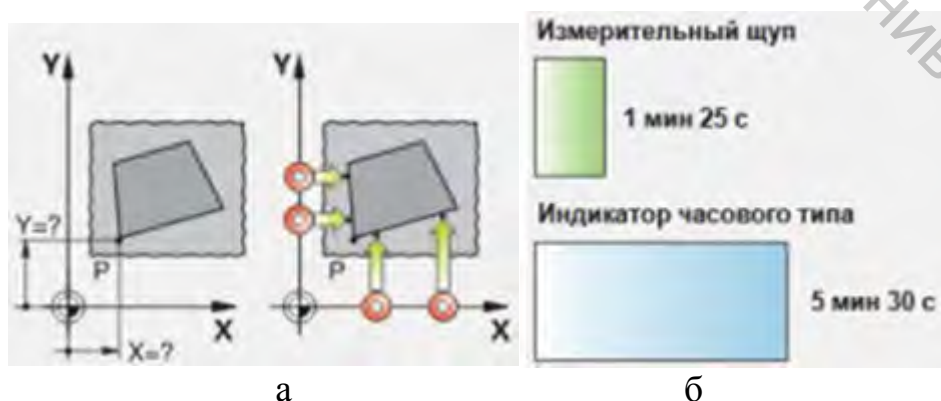


Рисунок 3.115 – Привязка начальной точки к детали:  
а – схема измерения; б – затраты времени

В данном случае экономия времени составляет 4 минуты – это около 72 % затрат времени. Если выполнять только один такой процесс наладки в день, экономия составит более 1000 евро в год при стоимости машино-часа 70 евро и 220 рабочих днях.

Для второго случая, когда необходимо установить заготовку по центрам двух отверстий вдоль координатных осей и выполнить привязку нулевой точки детали в плоскости обработки, экономия времени при использовании датчика типа TS оказывается ещё более значимой – 5 минут или около 77 % (рис. 3.116 а, б). При выполнении только одной наладки в день в течение года позволит сэкономить 1280 евро (при аналогичной стоимости станко-часа и количестве отработанного времени).

Обеспечение высокой точности обработки требует получения постоянной информации о размерах инструмента и регулярный контроль величины его износа. Получение этих данных обеспечивают щупы контроля размеров инструментов (серии TT), которые измеряют геометрические параметры различных инструментов непосредственно на станке.



Рисунок 3.116 – Привязка начальной точки к детали со сложным наружным контуром с использованием двух отверстий

Они позволяют выполнять измерение отдельных зубьев для фрезерных инструментов, а с помощью контактного элемента прямоугольной формы можно измерять токарный инструмент, т. е. контролировать его износ и поломку. Для компенсации радиуса режущей кромки необходимо ввести значение радиуса режущей кромки инструмента в таблицу инструментов. Это действие выполняет система ЧПУ и измеренные величины записывает в таблицу инструментов, а затем использует при расчетах траектории и времени обработки. На рисунке 3.117 показаны варианты измерения длины и радиуса инструмента, которые выполняют как при вращающемся, так и неподвижном шпинделе.

Возможно измерение размеров отдельных зубьев для контроля целостности режущих кромок и их износа, которое выполняют с помощью углового позиционирования шпинделя станка. Аналогичными способами выполняют контроль износа зубьев режущих инструментов и вероятность поломки. В цикле измерения режущие инструменты касаются поверхностей

контактного щупа, а измеренные значения сравниваются системой ЧПУ с заданными.



Рисунок 3.117 – Использование контактного датчика для измерения длины и радиуса инструмента

В случае несоответствия система выдаёт сообщение о необходимости замены инструмента. Кроме фрезерных могут контролироваться размеры токарного и другого инструмента.

В качестве дополнительной информации для самостоятельного изучения конструкции контактных щупов и принципов работы рекомендуется **следующие литературные источники:**

1 Контактные измерительные системы для станков с ЧПУ. Renishaw. H-2000-3022-08-а.

2 Измерительные щупы для станков. HEIDENHAIN.

3 Полный ассортимент устройств компании Marposs для проверки на станках.

Кроме систем контактного измерения размеров инструментов используют системы бесконтактного измерения. При этом системы измерения размеров инструментов с помощью лазера обладают преимуществами. Благодаря бесконтактному методу измерения можно быстро и точно измерять параметры геометрии практически любого, даже самого маленького, и, соответственно, хрупкого инструмента, причём при его вращении. Измерения, выполненные при номинальной скорости вращения режущего инструмента, позволяют определять и корректировать погрешности инструмента, шпинделя и оправки, учитывать радиальное и торцовое биение, которые оказывают влияние на точность обработки.

Преимущества рассмотренных систем достигаются при выполнении измерительных операций, заложенных в программное обеспечение станка с ЧПУ.

Измерительные операции позволяют добавить в управляющую программу команды управления измерительным щупом. Измерительные операции могут служить основой для реализации различных схем адаптивной обработки.

Примерами решаемых на станке задач с помощью измерительных систем могут быть:

– исследование присутствия детали на станке;

- идентификация детали;
- установка нулевой точки, исходя из фактического положения детали;
- установка нулевой точки для перераспределения припуска на заготовке;
- измерение детали, внесение изменений в величину коррекции инструмента и повторная обработка;
- контроль геометрии и износа режущего инструмента.

В NX измерительные операции собраны во вкладке «Тип» – PROBING (рис. 3.118). Всего в подтипе их 4:

- операция измерения фрезерованной детали – MILL\_PART\_PROBING;
- операция измерения детали после токарной обработки – TURN\_PART\_PROBING;
- операция измерения фрезерного инструмента – MILL\_TOOL\_PROBING;
- операция измерения токарного инструмента – TURN\_TOOL\_PROBING.



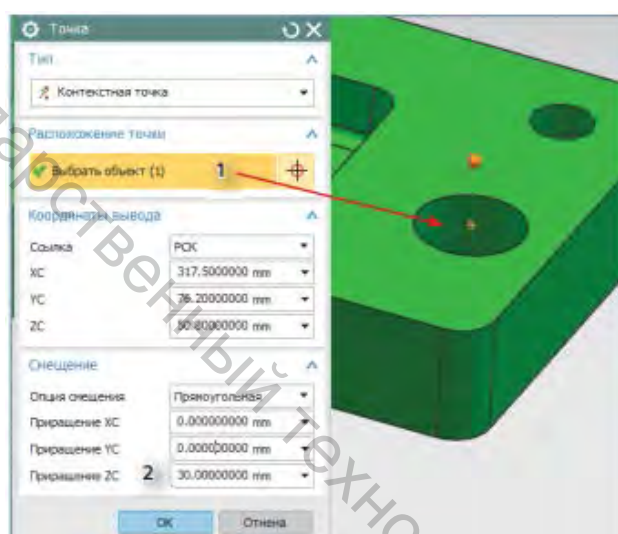
Рисунок 3.118 – Вкладки для использования контактного датчика

Циклы измерения используют параметры системы ЧПУ для сохранения измеренных данных. На первом этапе после установки операционной заготовки на столе станка, в шпинделе станка или приспособлении такие данные обеспечиваю привязку к измеренному элементу детали нулевой точки управляющей программы. В процессе выполнения операционных переходов измерения позволяют контролировать обработанные поверхности и конструктивные элементы с целью оценки достигнутой точности, а после выполнения всей обработки позволяют окончательно проверить результаты работы станка при выполнении управляющих программ.

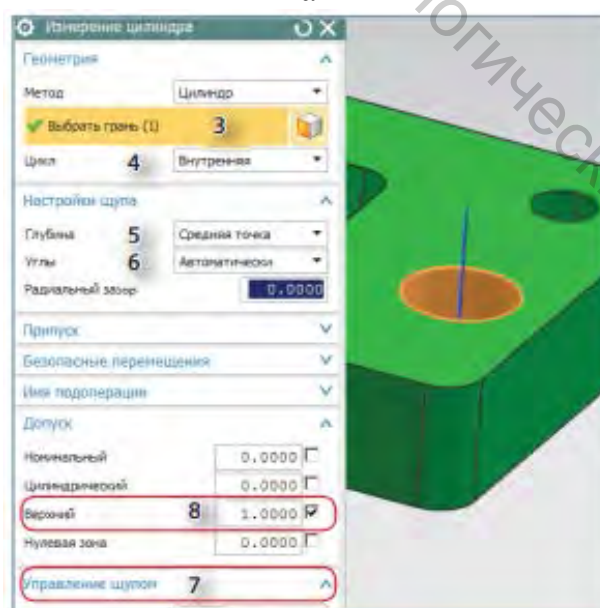
Для выполнения измерительных циклов на станке в управляющих программах обработки заготовок указывают номер гнезда инструментального магазина, в котором находится измерительный щуп. После автоматической смены режущего инструмента на измерительный щуп последует исполнение выбранного измерительного цикла с записью результатов выполненных измерений.

Пусть требуется выполнить измерение размеров отверстия цилиндрической формы. В навигаторе модели скрывают заготовку как компонент сборки. В «Навигаторе операций» создают новую операцию MILL\_PART\_PROBING. Операция должна включать линейное перемещение в заданную точку, измерение цилиндра и линейное перемещение вдоль оси измерительного щупа для его вывода из зоны измерения.

При создании первой операции выполняют привязку к центру отверстия (1 – «Выбрать объект (1)») и задают «Приращение ZC» (2, в примере это смещение задано +30 мм). Эта точка обеспечивает безопасное расположение измерительного щупа относительно обработанной заготовки. В результате будет создана ассоциативная точка, связанная с осью отверстия (подсвечена динамическим маркером, рис. 3.119 а).



а

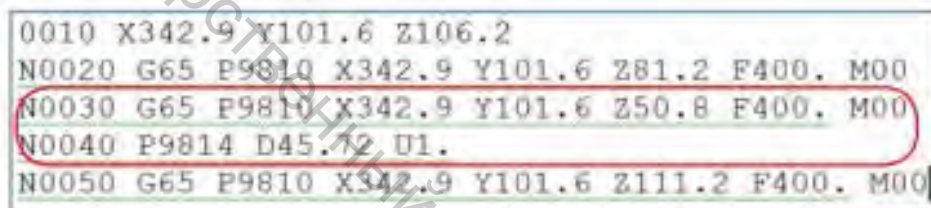


б

Рисунок 3.119 – Вкладки привязки измерительного щупа:  
 а – к точке центра отверстия и задания приращения для опускания в отверстие; б – измерения отверстия

Затем во вкладке «Измерение цилиндра» указывают цилиндрическую грань (3 во вкладке «Геометрия»), цикл автоматически принимает значение «Внутренняя» (4). Во вкладке «Настройки шупа» задают параметры «Глубина» (5) и «Углы» (6). Первый параметр задан средней точкой, которой будет середина высоты обработанной цилиндрической поверхности. Точки измерения будут заданы автоматически и обеспечат 4 точки касания шупа в направлении координатных осей XY. Этот параметр можно задать и явно. Параметр «Управление шупом» (7) аналогичен параметрам измерения, задаваемым при измерении координат точки. Также можно задать корректировку нулевой точки или коррекцию инструмента. Кроме этого, задают «Верхний допуск» (8) и активируют его использование (рис. 3.119 б). Значения допусков определяют реакцию на результат измерения. В случае перемещения при измерении, которое превышает верхний допуск, произойдёт остановка операции измерения с выдачей сообщения об ошибке.

Генерируют операцию и выполняют её постпроцессирование, после которого она примет вид, как на рисунке 3.120.



```
0010 X342.9 Y101.6 Z106.2
N0020 G65 P9810 X342.9 Y101.6 Z81.2 F400. M00
N0030 G65 P9810 X342.9 Y101.6 Z50.8 F400. M00
N0040 P9814 D45.72 U1.
N0050 G65 P9810 X342.9 Y101.6 Z111.2 F400. M00
```

Рисунок 3.120 – Фрагмент текста управляющей программы с выводом измерительных циклов измерения отверстия

Получают текст управляющей программы с выводом измерительного цикла определения размеров отверстия. Измерение отверстия в управляющей программе выводится двумя кадрами: опускание шупа в отверстие задано отдельным кадром как защищённое движение и цикл P9814, в нём явно указаны диаметр измеряемого отверстия (D45.72) и значение допуска (U1). Принято обозначение измерительного цикла для ЧПУ (Sinumerik). Если отверстие в заготовке будет отсутствовать, то останов произойдет в кадре 30, так как шуп не достигнет конечного положения, поскольку встретит препятствие при опускании по оси Z. Если отверстие есть, но его диаметр меньше заданного припуском на стенке равным 1 мм, останов произойдет при исполнении кадра 40. Если цикл измерения прошёл успешно, переходят к следующей операции обработки (например, к нарезанию резьбы в обработанном и измеренном отверстии).

## 4 Программирование резки на станках с ЧПУ

Обязательным этапом большинства технологических процессов при изготовлении различных деталей является раскрой металла на заготовки.

Станки с современным числовым программным управлением позволяют оперативно получать высококачественные заготовки без прямого вмешательства человека и минимизировать производственные затраты. Использование программного обеспечения для автоматизации раскроя обеспечивает существенную экономию материала, значительно повышает производительность, сокращает эксплуатационные затраты и повышает качество резки.

Среди множества программных продуктов для программирования плазменной резки следует выделить ProNest, ALMA act/cut 3D, CAMduct, Техтран 7, Интех-РАСКРОЙ, Libellula, TUBE, Rotary Tube Pro.

Лидирующее положение среди продуктов, используемых для программирования раскроя на установках с ЧПУ, занимает программное обеспечение ProNest® (например, версии ProNest 2021), которое разработано американской компанией Hypertherm [24]. Программное обеспечение позволяет оптимизировать производительность систем плазменной, лазерной, гидроабразивной и кислородной резки.

К числу стандартных функций, которые заложены в это программное обеспечение, относятся:

- интегрированная программа 2D САПР для создания и изменения файлов САПР, используемая при конструировании деталей;
- функция «Детали различных форм» обеспечивает разработку наиболее распространенных деталей с помощью готовых шаблонов;
- импорт и преобразование файлов, созданных в программах САПР/АСТПП;
- импорт файлов из САПР с автоматическим исправлением файлов и оповещением об обнаруженных ошибках и в PDF формате;
- функция «Растр в вектор» для преобразования статических растровых изображений в векторные для работы в САПР;
- автоматическое обновление раскроя для новых версий детали;
- автоматическое скругление угла детали для оптимизации времени цикла работы лазера и повышения качества деталей;
- наличие база данных материалов (с указанием марки и толщины)
- возможность создания база данных заказчиков;
- возможность определения неправильных форм для раскроя;
- формирование списка листов;
- формирование библиотеки деталей и базы данных узлов;
- учёт структуры материала;
- анализ безопасных зон, используемых для зажима листа;
- предварительный прожиг и прожиг края;

- функция отключения автоматического контроля высоты в зависимости от геометрии детали;
- настройка времени предварительного нагрева для кислородной резки;
- испарение слоя защитной пленки перед началом лазерной резки;
- автоматическая вставка перемычек/микростыков (для сохранения детали в листе);
- интерактивный раскрой вручную;
- выполнение задания из листов с несколькими типами материала, значениями толщины и классами деталей;
- назначение цвета деталям на основе их свойств;
- группировка деталей в кластеры для раскроя;
- перетаскивание деталей в раскрой, их сталкивание и автоматическое смещение;
- перемещение, зеркальное отражение и перетаскивание для поворота деталей в требуемое положение;
- обнаружение задевания деталей;
- анимированная имитация последовательности резки;
- управление направлением и последовательностью резки от детали к детали;
- обрезка листов;
- создание управленческих и производственных отчётов с их непосредственно в PDF, Excel, CSV или веб-страницу;
- вывод в формате DXF;
- постпроцессирование с выводом на ЧПУ.

Программный комплекс ALMA Act/Cut 3D интегрируется с различными типами установок и обеспечивает создание карт раскроя при пяти осевой плазменной резке металла в автоматизированном и интерактивном режиме работы [25].

Разработчик программного обеспечения – компания ALMA (Чили).

Основные преимущества продукта:

- высокопродуктивная автоматическая раскладка деталей благодаря наличию разнообразных стратегий раскроя;
- оптимизация использования остатков листа или делового отхода любой формы, что позволяет существенно сократить расходы на материал;
- реализуется функция автоматической раскладки, контроль траектории движения плазмотрона или генерирование NC-файлов (управляющей программы для ЧПУ). Возможна работа полностью в автоматическом режиме;
- обеспечивается создание трёхмерных карт раскроя;
- осуществляется автоматический расчёт резов со сложной геометрией с учетом особенностей материала, резака и режимов резки;
- применяются различные методы для уменьшения количества прожигов на лист, обеспечивая тем самым экономию на расходных материалах;
- применяется контроль теплового влияния на заготовку;

- обеспечивается реалистичная симуляция (визуализация) движения по осям с учётом характеристик конкретной установки плазменного раскроя, отображений отклонений при создании карты раскроя;
- имеется функция установки ориентации режущей головки при наклонных резах, задаваемая вручную либо автоматически;
- вычисление расположения точек входа/выхода плазмы в металл позволяет избежать появления неровностей кромок;
- возможно использование встроенной библиотеки типовых деталей (параметрические макросы), а также осуществлять загрузку геометрии контура из КОМПАС, AUTOCAD, SolidWorks, Интех-Р и др.;
- обеспечивается автоматическое генерирование технологических документов (спецификаций, чертежей, нормировочных ведомостей с автоматическим вычислением экономических затрат).

Программное обеспечение Техтран «Раскрой» является разработкой компании НИП-Информатика [26].

Предназначено для проектирования программ раскроя листового материала. Возможности САМ-системы объединены с функциями организации производственного процесса. Подход к решению, использованный в программе, суммирует опыт работы ряда предприятий, эксплуатирующих машины термической резки. Задача в том, чтобы по заданию на раскрой, которое состоит из номенклатуры отобранных деталей и их количества по каждому наименованию, оперативно, учитывая складские запасы, оптимальным образом разложить детали на листах и получить управляющие программы резки этих деталей. Листы делового отхода, остающиеся после работы, должны быть учтены в базе данных системы для дальнейшего использования. Фигурный раскрой, в отличие от прямого, предназначен для работы с деталями произвольной формы и ориентирован, прежде всего, на машины газовой, плазменной, лазерной и гидроабразивной резки, оснащенные устройствами ЧПУ.

Программный продукт обеспечивает:

- построение геометрической модели детали;
- обмен геометрическими данными с другими САД-системами;
- использование базы данных и делового отхода;
- формирование задания на раскрой;
- автоматическое и ручное размещение деталей на листе;
- разделку кромок под сварку;
- документирование карт раскроя и спецификаций;
- получение управляющих программ для различных станков с ЧПУ;
- настройку программы на конкретное оборудование с ЧПУ.

Могут использоваться также бесплатные программные продукты (программы с открытым кодом), например, SVGnest. Если необходимо получить заготовки из металла/пластика/дерева и других материалов, программа будет постоянно искать решение, пока расчёт не закончится

нажатием кнопки «Стоп». После этого можно загрузить файл SVG с результатами такого расчёта.

Существует программное обеспечение Deepnest – приложение для раскроя с открытым исходным кодом, которое отлично подходит для лазерных, плазменных и других станков с ЧПУ. Deepnest компактно упаковывает детали в одну область с целью экономии материала и времени резки. Он автоматически объединяет общие линии, поэтому резак не проходит один и тот же путь резки дважды. Это не только экономит время, но и улучшает качество деталей, уменьшая тепловые деформации от нескольких проходов. Используется современный механизм компоновки деталей и возможностью чтения растровых изображений для лазерной гравировки. Поддерживает файлы форматов DXF, SVG, Corel CDR.

Перечисленные выше продукты в ряде случаев применяют при программировании не только плазменной, но и лазерной и гидроабразивной резки.

Однако ведущие производители последних двух типов оборудования разрабатывают собственное программное обеспечение и оснащают им производимые установки, чтобы гарантировать высококачественную обработку. Так, фирма Flow разработала и постоянно улучшает программное обеспечение FlowXpert®, которое используется для 3D-моделирования и проектирования траекторий обработки пространственных деталей. Другим продуктом, который используется для проектирования 2D CAD трассировки резки, является программное обеспечение FlowPath™. Приложение разметки для гидрорезки FlowNest обеспечивает максимально эффективное использование материала (раскладку вырезаемых контуров на исходной заготовке).

Фирма Water Jet Sweden AB (Швеция) является европейским лидером по производству высокотехнологичных прецизионных установок гидроабразивной резки. Станки этой фирмы комплектуются программным обеспечением CAD/CAM IGEMS и обеспечивают высокопроизводительное программирование обработки плоских контуров (2D).

Программирование раскроя и формирование управляющих кодов в любом из перечисленных программных продуктов можно выполнить, используя источники, находящиеся в свободном доступе и не нарушающие права владельцев программного обеспечения. Они достаточно просты для понимания и могут быть изучены в порядке самообразования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Общие сведения о программном управлении станками / СТАНКО АРЕНА [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: <https://stanko-arena.ru/article/obshchie-svedeniya-o-programmnom-upravlenii-stankami.html>. –

Дата доступа: 11.06.2021.

2 ГОСТ 20523-80. Устройства числового программного управления станками. Термины и определения. – Введ. 1981–07–01. – Москва : Издательство стандартов, 1987. – 8 с.

3 Числовое программное управление / Википедия [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Числовое\\_программное\\_управление](https://ru.wikipedia.org/wiki/Числовое_программное_управление). – Дата доступа: 01.06.2021.

4 Мощные жесткие планарные линейные сервоприводы / Сверхпрецизионные высокоскоростные фрезерные центры Sodick [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: <https://sodick.sodicom.biz/ru/high-speed-milling/>. – Дата доступа: 16.06.2021.

5 Высокоскоростное фрезерование (High Speed Cutting (HSC, HSM)) / Центр твердосплавного инструмента [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: [https://carbide-tool.ru/high\\_speed\\_cutting](https://carbide-tool.ru/high_speed_cutting). – Дата доступа: 16.06.2021.

6 Линейные двигатели нового поколения : к.т.н. Серебrenицкий П. П., БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова / Sodick [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: <https://sodick.sodicom.biz/ru/линейныедвигатели-нового-поколения>. – Дата доступа: 16.06.2021.

7 Линейные серводвигатели / СТАНКО АРЕНА [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: <https://stanko-arena.ru/article/lineynye-servodvigateli.html>. – Дата доступа: 21.06.2021.

8 DMG MORI Обзор станков [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: <https://ru.dmgmori.com/products/machines>. – Дата доступа: 09.06.2021.

9 CTX 310 Станок токарный с ЧПУ. Описание, схемы, характеристики / Рубикон ООО [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: [http://stanki-katalog.ru/sprav\\_ctx310.htm](http://stanki-katalog.ru/sprav_ctx310.htm). – Дата доступа: 07.06.2021.

10 Датчики линейных перемещений для станков с ЧПУ : HEIDENHAIN / DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, 4.2008. – 55 с. – Режим доступа: <https://osnastik.ru/d/499774/d/2.1--datchiki-lineynyh-peremescheniy.pdf>. Дата доступа: 17.06.2021.

11 Ленточнопильные станки по металлу, оснащенные ЧПУ : виды и характеристики / RuStan [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: <https://rustan.ru/lentochnopilnye-stanki-po-metallu-osnashchennye-chpu>. – Дата доступа: 17.06.2021.

12 Маркевич, Ю. Р. Основы ленточного пиления и станки : учебно-методическое пособие для лабораторных работ / Ю. Р. Маркевич [и др.] ; под ред. Э. М. Дечко, Ю. Р. Маркевича. – Минск : БНТУ, 2014. – 80 с.

13 Виды лазерных станков ЧПУ / laserGURU [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: [https://lasergu.ru/novosti-akcii/vidy\\_lazernykh\\_stankov/](https://lasergu.ru/novosti-akcii/vidy_lazernykh_stankov/). – Дата доступа: 21.06.2021.

14 Основы технологии лазерной резки металла / WikiMetall.RU [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: <https://wikimetall.ru/metalloobrabotka/lazernaya-rezka-metalla.html>. – Дата доступа: 21.06.2021.

15 Лазерный станок – что это такое, устройство и принцип работы, существующие преимущества и недостатки, какие можно делать изделия? / Станки & инструменты [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: <https://instanko.ru/elektroinstrument/vozmozhnosti-lazernogo-stanka.html>. – Дата доступа: 21.06.2021.

16 Модернизация оборудования вырезания заготовок при производстве столовых приборов на ПАО «Ашинский металлургический завод» / ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ ЮУрГУ. – 27.03.04.2017.061.00 ПЗ ВКР [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: <https://docplayer.com/74037357-Poyasnitelnaya-zapiska-k-vypusknoy-kvalifikacionnoy-rabote-yuurgu-pz-vkr.html>. – Дата доступа: 21.06.2021.

17 Гидроабразивная резка / Википедия Свободная энциклопедия [Электронный ресурс] ; 2021. – режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Гидроабразивная\\_резка](https://ru.wikipedia.org/wiki/Гидроабразивная_резка). – Дата доступа: 22.06.2021.

18 Нулевые, исходные и фиксированные точки станка с ЧПУ / StudRef [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: [https://studref.com/590166/tehnika/nulevye\\_ishodnye\\_fiksirovannye\\_tochki\\_stanka](https://studref.com/590166/tehnika/nulevye_ishodnye_fiksirovannye_tochki_stanka). – Дата доступа: 25.06.2021.

19 Справочник кодов и специальных символов программирования / Планета САМ. Информационно-аналитический электронный журнал [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: <http://www.planetacam.ru/college/learn/16-1/>. – Дата доступа: 25.06.2021.

20 САД/САМ. Требования к современной САМ-системе / ПЛАНЕТА САМ [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: <http://www.planetacam.ru/college/learn/12-11/>. – Дата доступа: 30.06.2021.

21 Аносов, М. С. ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ В СИСТЕМЕ SIEMENS NX : учеб. пособие / М. С. Аносов [и др.]. – Нижний Новгород ; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева, 2019. – 110 с. – [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа:

[https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org\\_structura/instit\\_fakul\\_kaf\\_shkoly/ip\\_s/novye\\_vozmozhnosti\\_dlya\\_kazhdogo/sistema\\_mod\\_i\\_progr\\_nx/up\\_osn\\_razr\\_upr\\_programm\\_dlya\\_stankov\\_s\\_chpu\\_v\\_sist\\_siemens\\_nx.pdf](https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org_structura/instit_fakul_kaf_shkoly/ip_s/novye_vozmozhnosti_dlya_kazhdogo/sistema_mod_i_progr_nx/up_osn_razr_upr_programm_dlya_stankov_s_chpu_v_sist_siemens_nx.pdf). – Дата доступа 30.06.2021.

22 Концепция мастер-модели / PLM Урал [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: <https://www.plm-ural.ru/resheniya/koncepciya-master-modeli>. – Дата доступа: 30.06.2021.

23 Ведмидь, П. А. Программирование обработки в NX CAM / П. А. Ведмидь, А. В. Сулинов. – Москва : ДМК Пресс, 2014. – 304 с. // [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: [https://media.plm.automation.siemens.com/ru\\_ru/nx/book/Programmirovanie-obrabotki-v-NX-CAM.pdf](https://media.plm.automation.siemens.com/ru_ru/nx/book/Programmirovanie-obrabotki-v-NX-CAM.pdf). – Дата доступа: 08.07.2021.

24 ProNest 2021 / Hyperterm : SHAPING POSSIBILITY [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: <https://www.hypertherm.com/ru/hypertherm/pronest/pronest-cadcam-nesting-software/>. – Дата доступа: 27.07.2021.

25 Программное обеспечение для создания карт 3D плазменного раскроя Alma act/cut 3d / CyberStep [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: [https://cyberstep.ru/act\\_cut\\_3d](https://cyberstep.ru/act_cut_3d). – Дата доступа: 27.07.2021.

26 Раскрой листового материала / Техтран [Электронный ресурс] ; 2021. – Режим доступа: [https://tehtran.com/article\\_nest.html](https://tehtran.com/article_nest.html). – Дата доступа: 27.07.2021.

Учебное издание

**ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ СТАНКИ  
С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Конспект лекций

Составитель:  
Савицкий Василий Васильевич

Редактор *Т. А. Осипова*  
Корректор *А. В. Пухальская*  
Компьютерная верстка *В. В. Савицкий*

---

Подписано к печати 31.01.2022. Формат 60x90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Усл. печ. листов 10,0.  
Уч.-изд. листов 12,7. Тираж 2 экз. Заказ № 32.

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

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

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

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